

Lotta Liljelund

OFFSHORE – KENTÄN ELINKAARI

Merenkulun koulutusohjelma

Merikapteeni

2013

OFFSHORE – KENTÄN ELINKAARI

Liljelund, Lotta
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Merenkulun koulutusohjelma
Joulukuu 2013
Ohjaaja: Martikainen, Hannu
Sivumäärä: 48

Asiasanat: offshore, öljynporaus, elinkaari

Opinnäytetyön aiheena on offshore-kentän elinkaari. Offshore-kentillä tapahtuva alusoperointi on lisääntynyt huomattavasti viime vuosina. Elinkaaren eri vaiheissa kentällä tapahtuu paljon ja kaikki operaatiot vaativat erikoisvarusteltuja aluksia sekä erikoisosaamista niiden miehistöltä. Erityisesti syvänmeren työskentelyssä käytettävä tekniikka kehittyy jatkuvasti, mikä vaikuttaa myös työskentelyyn offshore-aluksilla.

Opinnäytetyön tarkoituksena on laatia suomenkielinen peruslähdeaineisto alasta kiinnostuneille merenkulun opiskelijoille. Työ on tarkoitettu myös johdannoksi DP-Basic kurssille osallistuville kansipäällystön jäsenille ja offshore-sektorilla työskentelyyn. Työssä ei ole tarkasteltu kovin syvällisesti kentällä tapahtuvia operaatioita ja siellä olevia rakennelmia, vaan niistä on luotu yleiskäsitys.

Lähdemateriaalina on käytetty englannin- ja norjankielistä kirjallisuutta sekä offshore-alan yrityksistä ja Høgskolen Stord/Haugesundista saatua oppimateriaalia.

A LIFE CYCLE OF AN OFFSHORE FIELD

Liljelund, Lotta

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Maritime Management

December 2013

Supervisor: Martikainen, Hannu

Number of pages: 48

Keywords: offshore, oil drilling, life cycle

The subject of this thesis was a life cycle of an offshore field. Vessel operations on offshore fields have substantially grown during the last years. It happens a lot on the field in different periods of a life cycle and all operations require vessels with special equipments and crew with special skills. Especially techniques used in deepsea operations, are developing constantly. That has also an impact on working on board an offshore vessel.

The purpose of this thesis was to build basic source material in Finnish for the students who are interested in the offshore sector. It was also meant for deck officers as a pre-study to the DP-Basic course and to work in the offshore sector. The thesis does not address that detailed to working on the field but gives a general idea of the operations and the structures there.

The source material used in this thesis was literature in English and in Norwegian and information gathered from offshore companies as well as from Stord/Haugesund University College.

.

LYHENTEET

DP	Dynamic Positioning
FPSO	Floating, Production, Storage and Offloading
HELCOM	Helsinki Commission
IMO	International Maritime Organization
LNG	Liquefied Natural Gas
OECD	The Organisation for Economic Co-operation and Development
OPEC	Organization of the Petroleum Exporting Countries
OSPAR	Oslo and Paris Convention
ROV	Remotely Operated Vehicle
TLP	Tension Leg Platform
ULCC	Ultra Large Crude Carrier
VLCC	Very Large Crude Carrier

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	YLEISTÄ KAASUSTA JA ÖLJYSTÄ	7
2.1	Energiankulutus	8
2.2	Öljyn- ja kaasuntuotanto	10
2.3	Ölly- ja kaasuvaramot	12
3	ÖLJYNPORAUS- JA TUOTANTOLAUTAT	13
3.1	Öljynporauslauttojen historiaa	13
3.2	Öljynporaus- ja öljyntuotantolauttatyypit	14
3.2.1	Kiinteä öljynporauslautta (<i>Fixed Platform</i>).....	15
3.2.2	Teräsrunkoinen kiinteä lautta (<i>Compliant Tower</i>)	17
3.2.3	Tension Leg-lautta (<i>Tension Leg Platform</i>)	18
3.2.4	Jack-up-lautta (<i>Jack-up Platform</i>).....	15
3.2.5	SPAR-lautta	19
3.2.6	Öljynporausalus	20
3.2.7	Puoluppolautta (<i>Semi-Submersible Platform</i>)	21
3.2.8	Öljyntuotanto-, varastointi- ja purkausalus (<i>FPSO</i>).....	22
4	OFFSHORE – KENTÄN ELINKAARI	23
4.1	Etsintä ja seisminen tutkimus.....	23
4.1.1	Seisminen mittaus.....	24
4.1.2	Seismitet alukset	26
4.2	Poraus ja öljyesiintymän valmisteleminen.....	28
4.2.1	Porausmuta	30
4.2.2	Vaakasuorat poraukset.....	30
4.2.3	Öljyesiintymän valmisteleminen tuotantoa varten	31
4.3	Öljyntuotanto	32
4.3.1	Öljyn talteenottotekniikat	33
4.3.2	Vedenalaiset tuotantolaitokset (<i>Subsea Production System</i>).....	34
4.3.3	Kuljetus öljy- ja kaasuputkissa	36
4.3.4	Tarkastus-, huolto- ja korjaustyöt.....	37
4.4	Tuotannon alas ajaminen ja rakennelmien purku	39
4.4.1	Kansainvälisen merenkulkujärjestön (IMO) säännöt purkamisessa.....	42
4.4.2	OSPAR-yleissopimus	43
5	YHTEENVETO	45
	LÄHTEET.....	46
	KUVAT.....	48

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön eräänä tavoitteena on ollut tekijänsä ammattitaidon kehittäminen. Työn tarkoituksena on toimia suomenkielisenä lähteenä alasta kiinnostuneille, koska aiheesta ei löydy juuri lainkaan tietoa suomenkielellä. Aihetta ei juurikaan käsitellä nykyisten merenkulkualan AMK-opintojen aikana, vaikka offshore-alalla on erittäin hyvät työllistymismahdollisuudet sinne tosissaan haluaville. Halusin koota oppaan, jossa käsitellään perusasioita öljyn- ja kaasunporauksesta ja niiden tuotannosta offshore-kentillä, menemättä liikaa yksityiskohtiin.

Työssä selvitetään mitä offshore-kentällä tapahtuu koko sen elinkaaren aikana, joka on useimmiten vuosikymmeniä pitkä ja jonka aikana kentällä tapahtuu paljon. Olen jakanut elinkaaren aikaiset vaiheet etsintään, poraamiseen, tuotantoon ja toiminnan lopettamiseen. Lisäksi olen käsitellyt maailman energiataloutta ja kentällä olevia rakenteita. Olen rajannut työn käsittelemään ainoastaan offshore-öljy- ja -kaasukenttiä ja jättänyt maissa olevat öljy- ja kaasukentät sekä muun offshore-toiminnan kokonaan pois.

Kiinnostuin aiheesta suorittaessani syksyllä 2012 alaan liittyviä opintoja Høgskolen Stord/Haugesundissa, Norjassa. Työssä käyttämäni lähdekirjallisuus ja muu materiaali on suurelta osin peräisin tältä ajalta, sekä opettajiltani että yritysvierailuilta.

2 YLEISTÄ KAASUSTA JA ÖLJYSTÄ

Raakaöljy ja maakaasu ovat muodostuneet satoja miljoonia vuosia sitten orgaanisten aineiden hajoamisen ja muuntumisen seurauksena paineen ja lämmön vaikutuksesta maaperässä. Raakaöljy on hiilen ja vedyn seosta, eli ns. hiilivetyä. Se sisältää myös mm. happea, typpeä, rikkiä ja metalleja. Raakaöljyn koostumus vaihtelee alueittain ja öljykentittäin siten, että esimerkiksi Lähi-idän öljy on hyvin raskasta ja vaikeasti porattavaa, kun taas Pohjanmeren öljy on hienoa ja juoksevaa. Raakaöljystä valmistetaan jalostamalla koneissa ja lämmityksessä käytettäviä poltto- ja voiteluaineita. Öljystä saadaan myös raaka-aineita, joita käytetään esim. tekstiili-, muovi- ja lannoitteollisuudessa.

Maakaasu koostuu pääosin metaanista. Lisäksi se sisältää mm. butaania, etaania ja propaania. Maakaasua on öljyesiintymissä joko öljyyn liuenneena tai vapaana kaasuna. Sitä esiintyy myös pelkkinä kaasuesiintyminä. Vielä tänäkin päivänä öljyesiintymän kaasua poltetaan soihtuna koska sitä on hyvin paljon, eikä kaikkea voida hyödyntää. Nykyajan teknologia kuitenkin mahdollistaa aiempaa paremman kaasun talteenoton ja soihdutus onkin vähentynyt noin 60 % vuodesta 1975. Soihdutus on kuitenkin hyvin alueellista ja esimerkiksi Nigeriassa soihdutettiin vielä vuonna 2005 noin 90 % maakaasun tuotannosta. Norjassa, jossa käytetään hyvin kehittynyttä teknologiaa, ei juurikaan soihduteta. Myös kaasussa olevaa hiilidioksidia hyödynnetään kentällä erottamalla se kaasusta ja pumppaamalla takaisin esiintymään, jolloin tuotanto tehostuu. Maakaasu johdetaan kentiltä putkia pitkin jalostamolle sellaisenaan kaasumaisessa olomuodossaan. Jalostamolta se kuljetetaan prosessoinnin jälkeen nesteytettynä asiakkaille, joko LNG-laivoilla tai putkia pitkin. (Klemola 2012, 5.)

Norjan mannerjalustan ensimmäinen öljyesiintymä, Ekofisk, löydettiin vuonna 1969. Se on yksi suurimmista koskaan löydettyistä esiintymistä ja siellä on edelleen tuotantoa. Suurin osa Norjan mannerjalustan öljy- ja kaasuesiintymistä saavat alkunsa ohuesta savikerroksesta, joka on useita tuhansia metrejä merenpohjan alapuolella. Savikerrokset ovat muodostuneet merenpohjaan noin 150 miljoonaa vuotta sitten, alueelle joka käsittää tämän päivän Luoteis-Euroopan. Suuret määrät mikroskooppista kasviplanktonia kasaantui hapettomaan pohjasedimenttiin. Aikojen saatossa ne

hautautuivat syvemmälle ja pitkän kemiallisen muuntumisen jälkeen öljy ja kaasu muodostuivat huokoisiin sedimenttikiviin ja onkaloihin esiintymiksi. Esimerkiksi kivihiilen pysyessä maan alla loputtomiin ilman louhimista, hiilivetyseos pyrkii tulemaan ulos pienimmästäkin reiästä omalla paineellaan. Esiintymän paine syntyy öljytaskun muodostuessa huokoiseen maaperään. Ylöspäin noustessaan öljy ja kaasu erottuvat toisistaan. (Hansen & Rasen 2012.)

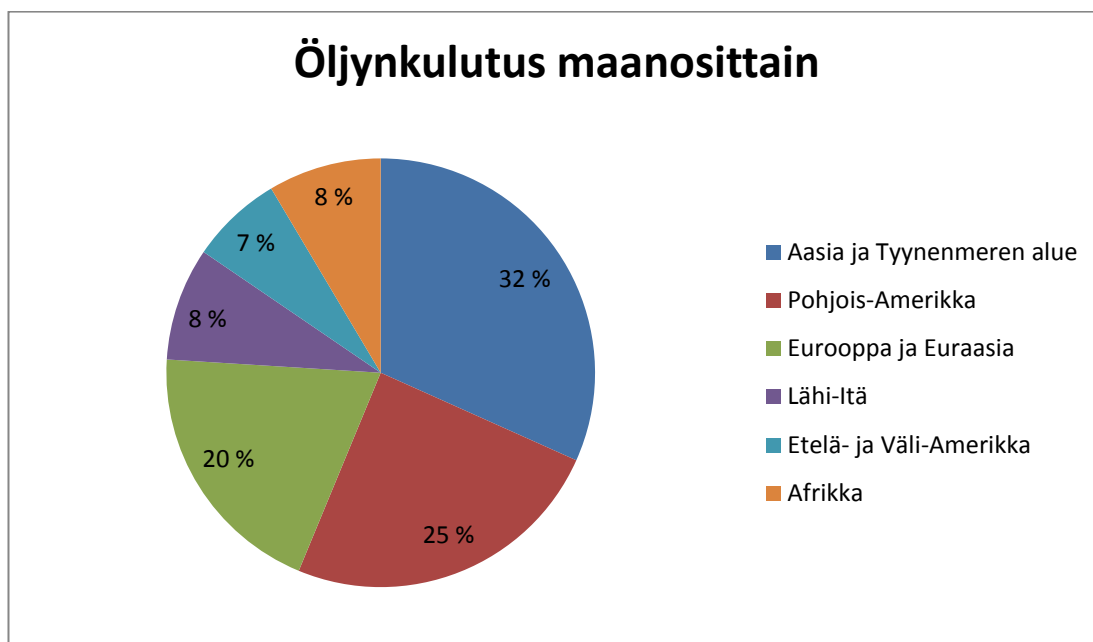
2.1 Energiankulutus

Länsimaalainen ja kehittyvissä teollisuusmaissa asuva ihminen on tottunut siihen, että vipua kääntämällä tai nuppia painamalla saadaan sähköä tai muuta energiaa. Asumme lämpimissä, valaistuissa kodeissamme ja käytämme liikennevälineitä, jotka tarvitsevat energiaa kulkeakseen. Harvoin ajattelemme, mistä kaikki energia tulee – niin itsestään selvää energiansaanti on. Kuitenkin jokainen kilowatti, jonka kulutamme, on pois maailman energiantuotosta, joista öljyn osuus on 35 %. (Lampinen 2012.)

Vallitsevan talouskriisin vaikutuksista huolimatta maailman energiankulutuksen enustetaan kasvavan aina vuoteen 2030 saakka. Kokonaisenergiankulutuksen kasvun on laskettu olevan 60 % luokkaa vuodesta 2002 vuoteen 2030. Fossiiliset polttoaineet öljy, kivihiili, turve ja maakaasu tulevat jatkossakin olemaan tärkein energianlähde maailmassa, niiden osuuden ollessa 80 % kokonaiskulutuksesta. Ne ovat uusiutumattomia tai hyvin hitaasti uusiutuvia luonnonvaroja, kuten turve, jonka uusiutuminen kestää noin 10 000 vuotta. Uusiutuvaa energiaa ovat tuuli-, vesi-, aurinko- ja bioenergia, maalämpö sekä ilmalämpö. Vuoteen 2030 mennessä öljyn- ja uusiutuvien energialähteiden kulutuksen prosentuaalinen osuus tulee pysymään lähes samana, kaasun kulutuksen noustessa ja ydinvoiman ja hiilen kulutuksen laskiessa. (Haavik 2012.)

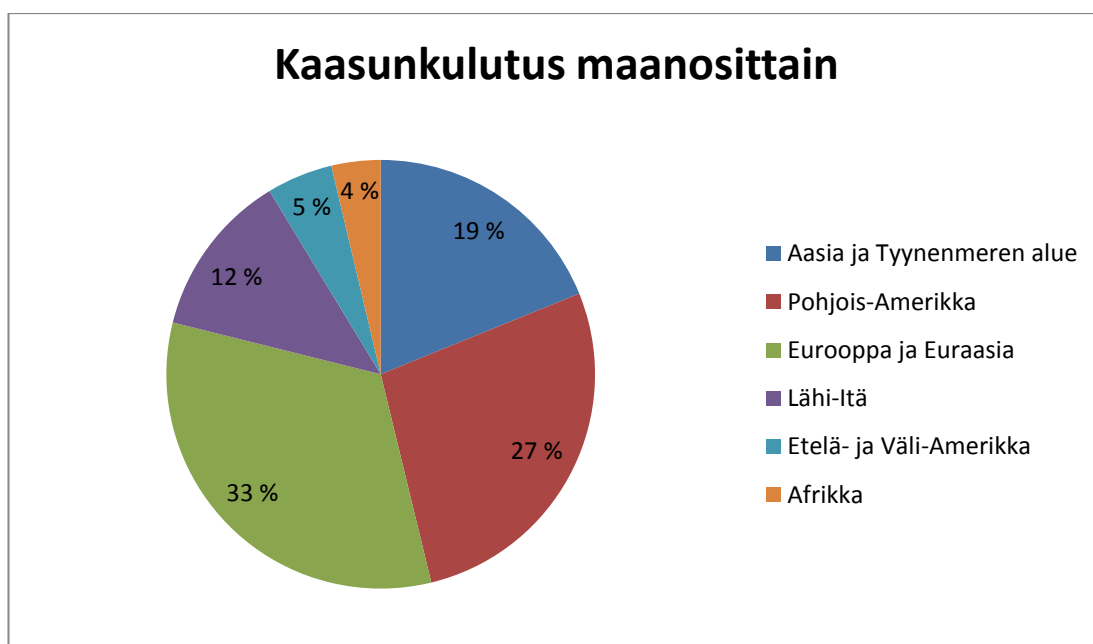
Öljynkulutus on jakautunut maapallolla epätasaisesti (Kuvio 1) Aasian ja Tyynenmeren alueen (29,7 milj. barrelia päivässä) ja Pohjois-Amerikan (23 milj. bbl/pv) ollessa suurimmat kuluttajat Euroopan ja Euraasian (18,5 milj. bbl/pv) seurattessa heti perässä. Lähi-itä (8 milj. bbl/pv), Etelä- ja Väli-Amerikka (6,5 milj. bbl/pv) ja Afrikka (3,5

milj. bbl/pv) ovat selkeästi pienempiä öljynkuluttajia. 1 barreli on 159 litraa. (BP 2013, 9.)



Kuvio 1. Maailman öljynkulutuksen jakautuminen vuonna 2012

Kaasunkulutus on myös jakautunut epätasaisesti (Kuvio 2) Euroopan ja Euraasian (1083,3 mrd. m³/v) ja Pohjois-Amerikan (906,5 mrd. m³/v) ollessa suurimmat kuluttajat vuonna 2012. Aasian ja Tyynenmeren alueella kulutettiin 625 mrd. m³/v ja Lähi-idässä 411,8 mrd. m³/v. Selkeästi pienempiä kaasunkuluttajia ovat Etelä- ja Väli-Amerikka (165,1 mrd. m³/v) ja Afrikka (122,8 mrd. m³/v). (BP 2013, 23.)



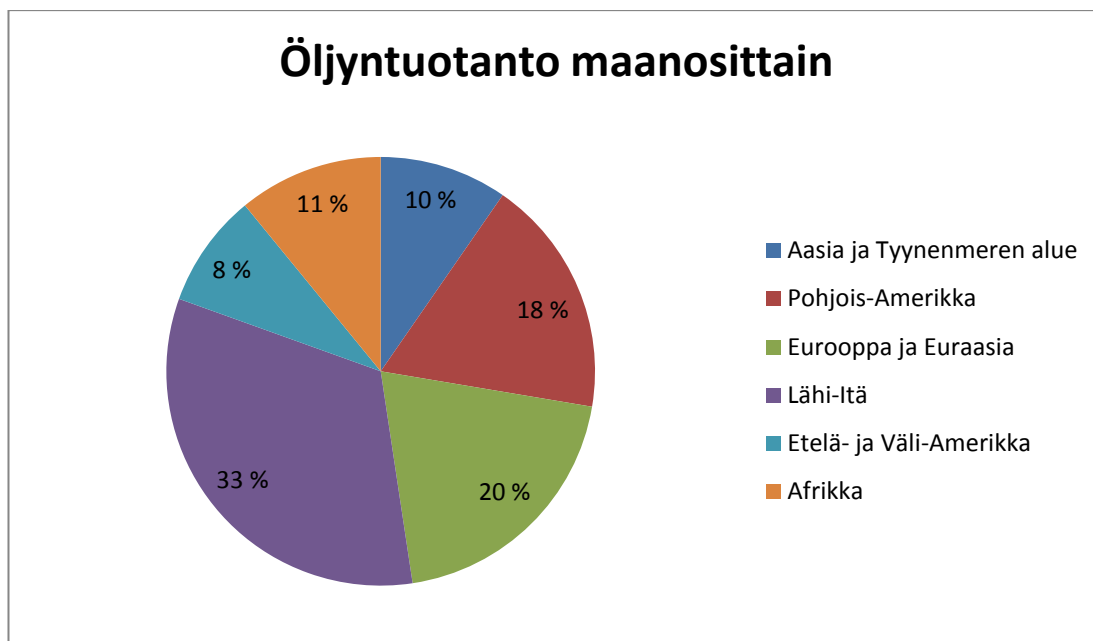
Kuvio 2. Maailman kaasunkulutuksen jakautuminen vuonna 2012

Energiankulutuksen mahtimaissa, Kiinassa ja Intiassa, talouskasvu tulee lisäämään energiankulutusta ja Kiina yksinään tulee lähivuosina ohittamaan Yhdysvallat energiankulutuksessa.

2.2 Öljyn- ja kaasuntuotanto

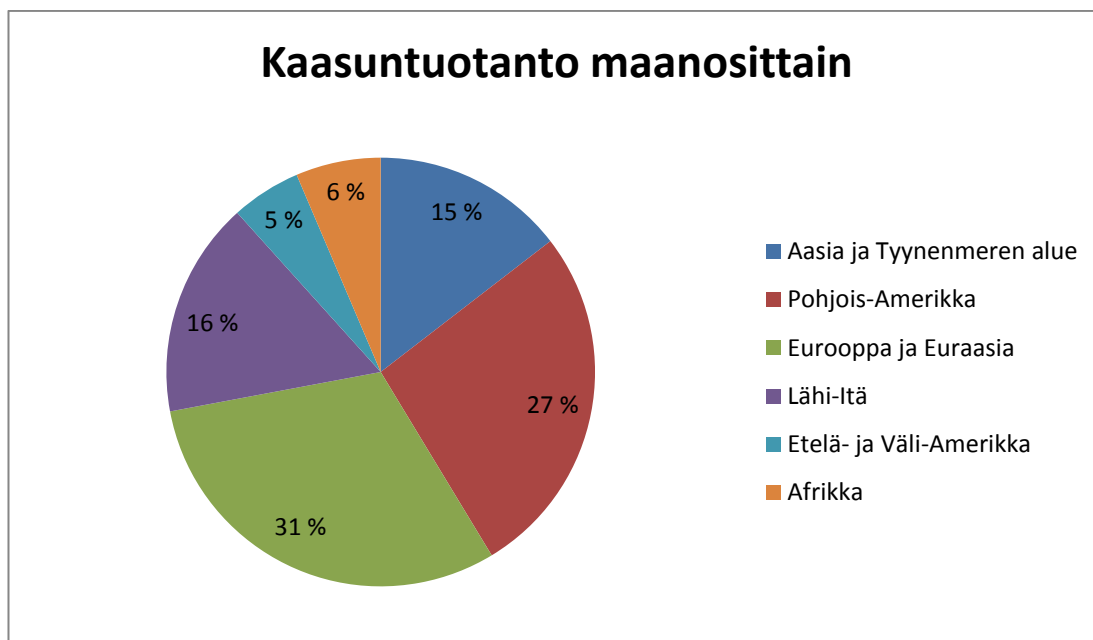
Tämän hetkisten ennusteiden mukaan raakaöljyntuotannon huippu (*peak oil*) ajoittuisi vuosien 2010–2020 väliin ja se koskee sekä öljyn- että kaasuntuotantoa. Teoriassa öljyntuotannon huippu olisi silloin, kun puolet kaikesta maaperässä olevasta öljystä on pumpattu. Sama sääntö pätee sekä yksittäiseen esiintymään että koko maailman esiintymiin. Pohjanmerellä, jossa operoivat norjalaisten lisäksi tanskalaiset, saksalaiset, hollantilaiset ja englantilaiset, raakaöljyntuotannon huippu on pikkuhiljaa ohitettu ja siellä keskitytään enemmän kaasuntuotantoon. Norjan raakaöljyntuotannon huippu saavutettiin jo vuosina 2000–2001. (Haavik 2012.)

Maailman öljyntuotanto vuonna 2012 oli noin 86 miljoonaa barrelia päivässä. Se on melko tasaisesti kasvanut vuodesta 1983, jolloin öljyä tuotettiin noin 53 milj. bbl/pv (IndexMundi 2013). Suurin öljyntuottajamaa vuonna 2012 oli Saudi-Arabia 11,5 miljoonalla barrelilla. Euroopan maista Venäjällä tuotettiin 10,6 milj. bbl/pv. Lisäksi Norjassa tuotettiin 1,9 milj bbl/pv. Jaettaessa öljyntuotanto OPEC, OECD ja muiden maiden kesken, OPEC maiden osuus on 43 %, OECD maiden 22 % ja muiden maiden 35 %. Seuraavalla sivulla olevassa kaaviossa (Kuvio 3) öljyntuotanto on esitetty maanosittain. (BP 2013, 8.)



Kuvio 3. Maailman öljyntuotannon jakautuminen vuonna 2012

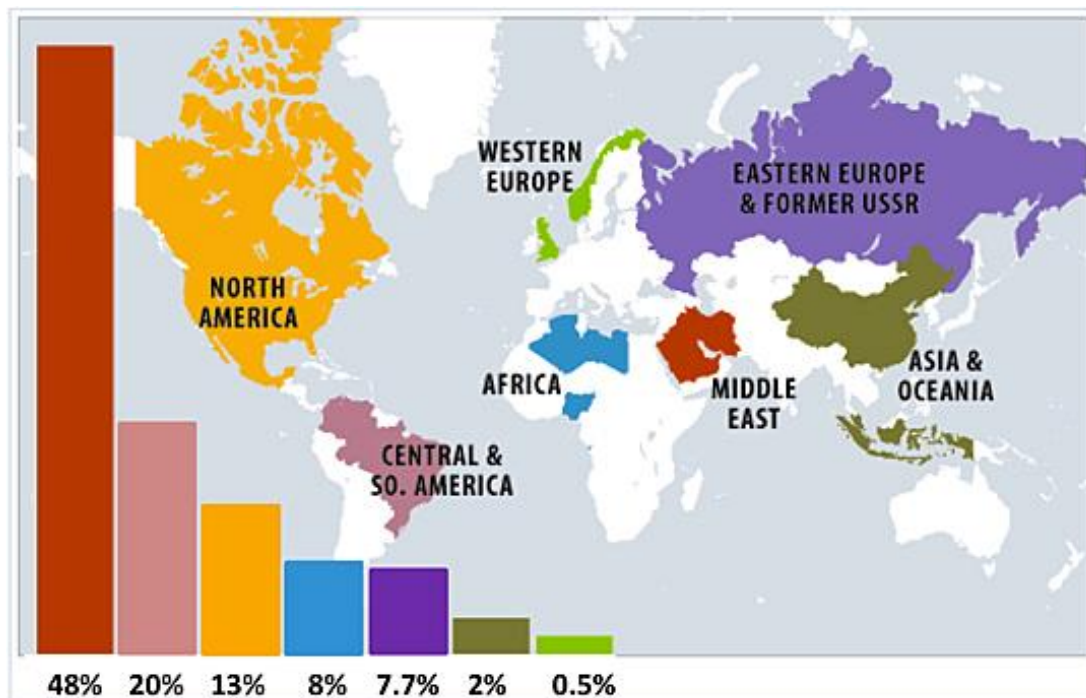
Suurin kaasun tuottajamaa vuonna 2012 oli Yhdysvallat (619,2 mrd. m³/v). Euroopan maista Venäjällä tuotettiin 533 mrd. m³/v. Lisäksi Norjassa tuotettiin 103,4 mrd. m³/v. Alla olevassa kaaviossa (Kuvio 4) kaasuntuotanto on esitetty maanosittain. (BP 2013, 24.)



Kuvio 4. Maailman kaasuntuotannon jakautuminen vuonna 2012

2.3 Öljy- ja kaasuvarannot

Kun arvioidaan maaperässä olevien hiilivetyjen määrää, puhutaan sekä löytymättömistä öljy- ja kaasuvaroista että todetuista reserveista. Löytymätön öljy on öljyä, joka saattaa löytyä geologisten faktojen perusteella, mutta jota ei ole vielä edes koeporattu. Tällaisia todennäköisiä esiintymiä on ympäri maailmaa. Todetuiksi reserveiksi kutsutaan sellaisia esiintymiä, joita ei ole vielä tarkkaan mitattu mutta joiden olemassaolo tiedetään. Esiintymien käyttö voi olla vielä taloudellisesti kannattamatonta, jonka takia niiden käyttöönottamista lykätään. Laitteiden ja tekniikoiden kehittyessä sekä energian hinnan noustessa myös näitä energiavaroja tullaan mitä todennäköisimmin käyttämään. Tiedossa olevat fossiilisten polttoaineiden varat tulevat kuitenkin riittämään vuosikymmeniksi eteenpäin. Kansainvälisen öljy-yhtiö BP:n mukaan maailman todetut öljyreservit ovat noin 1,669 biljoonaa bbl (BP 2013, 6) ja kaasureservit noin 187 triljoonaa m³ (BP 2013, 20). Varantojen riittäminen maailman energiantarpeen tyydyttämiseen ei tule olemaan ongelma vielä pitkään aikaan. Haasteena tulevat olemaan sekä jo löydettyjen esiintymien parempi hyödynnettävyys että vaikeampien varantojen eli syvänmeren öljyn hyödynnettävyys. (Haavik 2012.)



Kuva 1. Maailman öljyvarannot (Geologian tutkimuskeskus)

3 ÖLJYNPORAUS- JA TUOTANTOLAUTAT

Öljynporauslautta on merellä oleva suuri rakennelma, jota käytetään öljyn- ja kaasunporaukseen, koneiden ja laitteiden käyttämiseen ja säilyttämiseen sekä työntekijöiden majoittamiseen. Olosuhteista riippuen porauslautta voi seisoa kiinteästi omilla jaloillaan meren pohjassa tai se voi olla kelluva ja liikuteltava. Kiinteät porauslautat ovat asennettu suurille offshore-kentille ja ne ovat paikoillaan useita vuosia. Kelluvat porauslautat ovat joustavalla porausputkistolla yhteydessä vedenalaiseen tuotantolaitokseen. Yleisesti porauslautat sijaitsevat mannerjalustoilla, mutta jatkuvasti kehittyvän teknologian ja innovaatioiden ansiosta öljynporaus on mahdollista yhä syvemmissä ja syvemmissä vesissä.

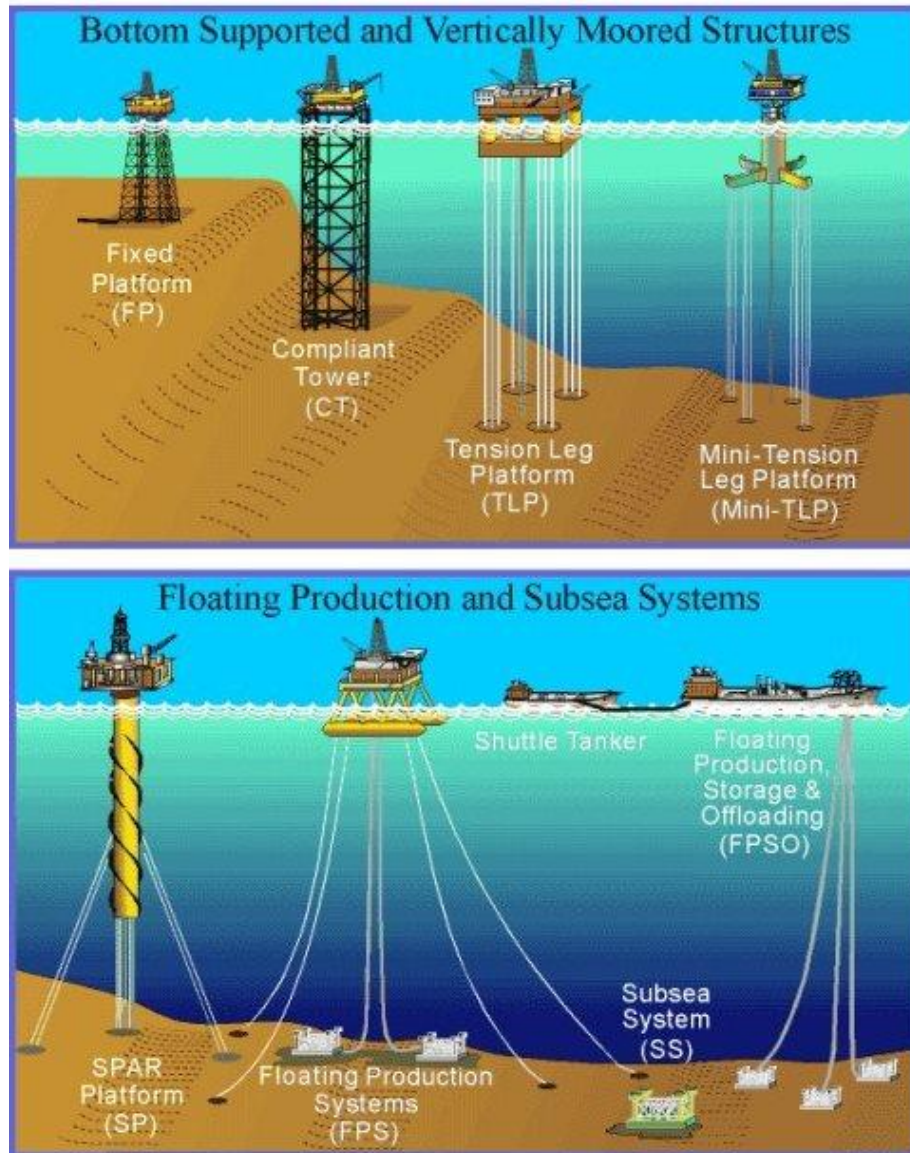
3.1 Öljynporauslauttojen historiaa

Öljynporauslauttojen historia ulottuu yli 60 vuoden taakse. Maailman ensimmäinen operoiva ja vielä tänäkin päivänä maailman suurin porauslautta, Neft Daşları, valmistui vuonna 1947. Se sijaitsee Kaspianmeressä ja tähän päivään mennessä sinne on rakennettu täysi kaupunki, joka tunnetaan nimellä Oil Rocks. (Solar Navigator 2013.)

Ennen varsinaisia offshore-öljynporauslauttoja vesillä tapahtuvan poraamisen tukialustoina käytettiin erilaisia rakennelmia. Maailman ensimmäinen vedenalainen öljykenttä porattiin noin vuonna 1891 ja porausalusta oli rakennettu paaluista. Kenttä sijaitsi Ohiossa USA:ssa, Suurilla järvillä St. Maryn joella ja alueella on vielä tänä päivänäkin öljyntuotantoa. Ensimmäinen merellä ollut kenttä porattiin noin vuonna 1896 ja se sijaitsi Santa Barbarassa, Kaliforniassa. Se oli porattu laiturilta (*pier*), joka oli rakennettu maista suoraan merelle päin. Tällaiset laiturit ovat hyvin tyypillisiä Kalifornian rannikolla ja ne voivat olla satoja metrejä pitkiä. (Wells 2007.)

3.2 Öljynporaus- ja öljyntuotantolauttatyypit

Vesialueilla käytettävät porauslautat ovat suurimpia liikuteltavia rakennelmia, joita ihminen on tehnyt. Porauslauttoja on useita erityyppisiä, riippuen vedensyvyydestä porauspaikalla.



Kuva 2. Öljynporauslauttatyypit (Offshore.no, 2013)

3.2.1 Jack-up-lautta (*Jack-up Platform*)

Jack-up-lautat ovat liikuteltaessa kelluvia lauttoja joita käytetään alle 100 metrin syvyyksissä vesissä. Jack-up-lautoissa on teräksiset ristikkojalat, jotka lasketaan merenpohjaan ennen kuin öljynporaustorni nostetaan merenpinnan yläpuolelle.



Kuva 3. Maersk Convincer operoi jopa yli 100 metrin syvyydessä (gCaptain, 2013)

3.2.2 Kiinteä öljynporauslautta (*Fixed Platform*)

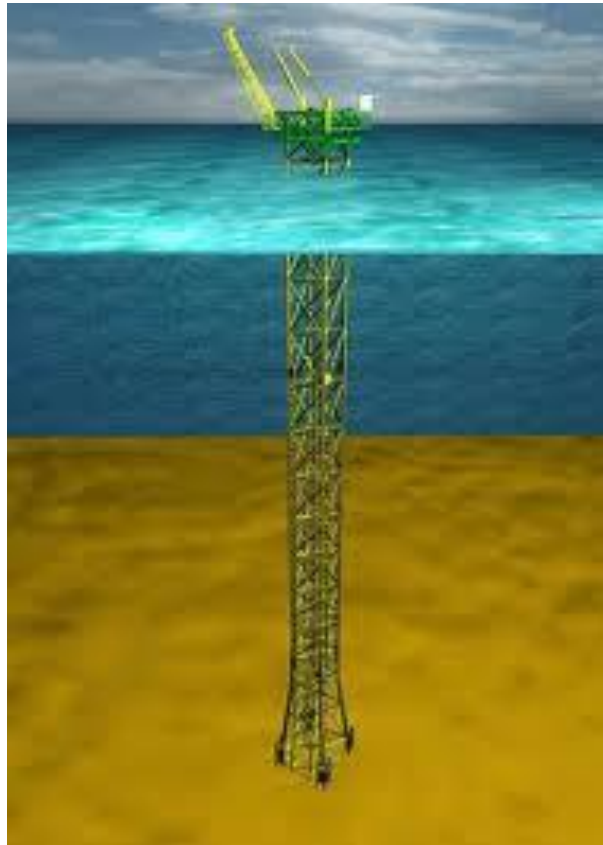
Kiinteät porauslautat seisovat suoraan merenpohjassa betoni- tai teräsjalcojen päällä. Veden syvyys porauskentällä määrittää jalcojen korkeuden. Kun jalat on asennettu merenpohjaan ja varmistettu, rakennetaan jalcojen päälle kansi, jossa on tilat poraus-, tuotanto- ja asuinrakennelmille. Kannen koon määrittelee tuotantoon tarvittavan miehistön ja käsiteltävän öljyn määrä. Tällaiset lautat on suunniteltu hyvin pitkäaikaiseen käyttöön ja niitä käytetään aina noin 500 metrin syvyyteen asti.



Kuva 4. Öljynporauslautta Hibernia (Cahill, 2013)

3.2.3 Teräsrunkoinen kiinteä lautta (*Compliant Tower*)

Teräsrunkoiset kiinteät lautat muistuttavat hyvin paljon perinteistä kiinteää lauttaa. Niiden erona on joustavuus. Teräsrunkoiset kiinteät lautat käsittävät kapean, joustavan tornin, joka tukee konventionaalista poraus- ja tuotantokantta. Joustavuutensa ansiosta ne kestävät kovaa sivuttaissuuntaista räsitusta kuten merenkäyntiä ja tuulta. Niitä käytetään yleensä 400–900 metrin syvyydessä.



Kuva 5. Teräsrunkoinen kiinteä lautta (Offshore.no, 2013)

3.2.4 Tension Leg-lautta (*Tension Leg Platform*)

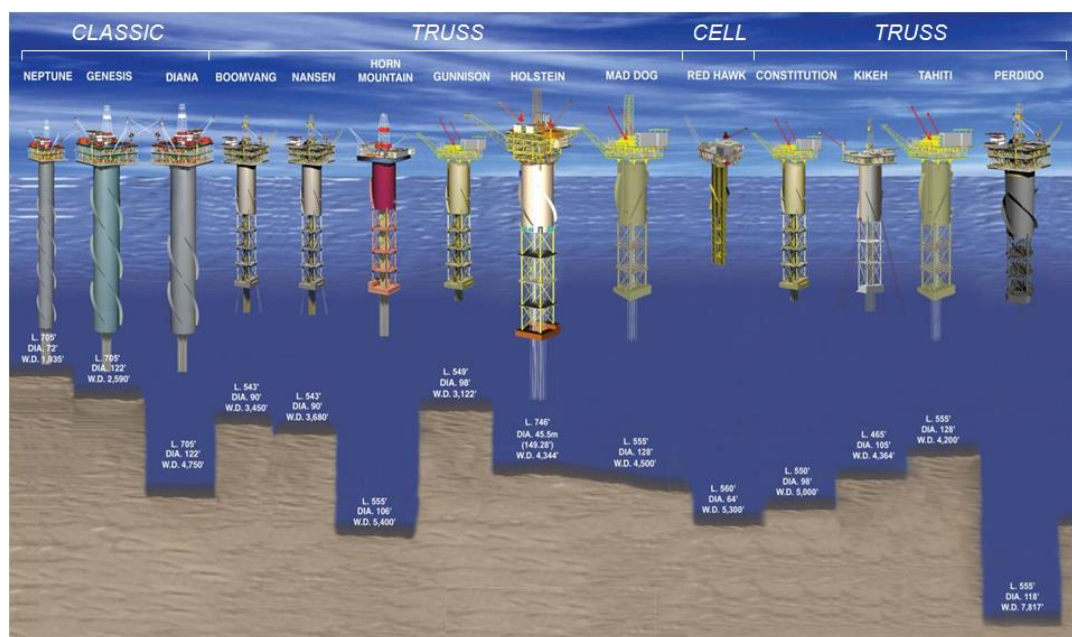
TLP on kelluva lautta, joka ankkuroidaan paikalleen. Se on muuten samanlainen kuin perinteinen kiinteä lautta, mutta se kelluu ja se ankkuroidaan paikalleen tiukkojen jänneiden (*tendons*) avulla joka kulmasta. Näin vältetään virran, merenkäynnin ja tuulen aiheuttamalta lautan sivuttaissuuntaiselta liikehdinnältä. Jänteet ovat tavallisesti teräsputkia ja halkaisijaltaan 600–900 mm. Niiden pituus riippuu veden syvyydestä. TLP ankkuroidaan normaalisti 16 jänteen avulla, eli joka kulmasta lähtee neljä jännettä. TLP soveltuu käytettäväksi 300–1500 metrin syvyydessä.



Kuva 6. Tension Leg Platform (Offshore.no, 2013)

3.2.5 SPAR-lautta

SPAR-lautat ovat kelluvia, jättimäisiä putkia, joiden päälle rakennetaan porauslaitteet ja asuintilat sisältävä kansi. SPAR-lautat ankkuroidaan merenpohjaan ja ne ovat joustavalla porausputkistolla yhteydessä porauskaivoon. SPAR-lautoissa on painolastitankit, joiden avulla säilytetään lautan vakavuus. Porausputkiston hajoaminen lautan liikehännän takia estetään hydraulisella tekniikalla. SPAR-lautta ”Perdido” poraa jopa 2384 metrin syvyydestä asti (Kuva 7). (Pääkkönen 2006, 7.)



Kuva 7. SPAR-lautojen kehityskaari. Mitat jalkoina (0.305 m). L = pituus, DIA = halkaisija, WD = poraussyvyys (Match INDUSTRY, 2013)

3.2.6 Öljynporausalus

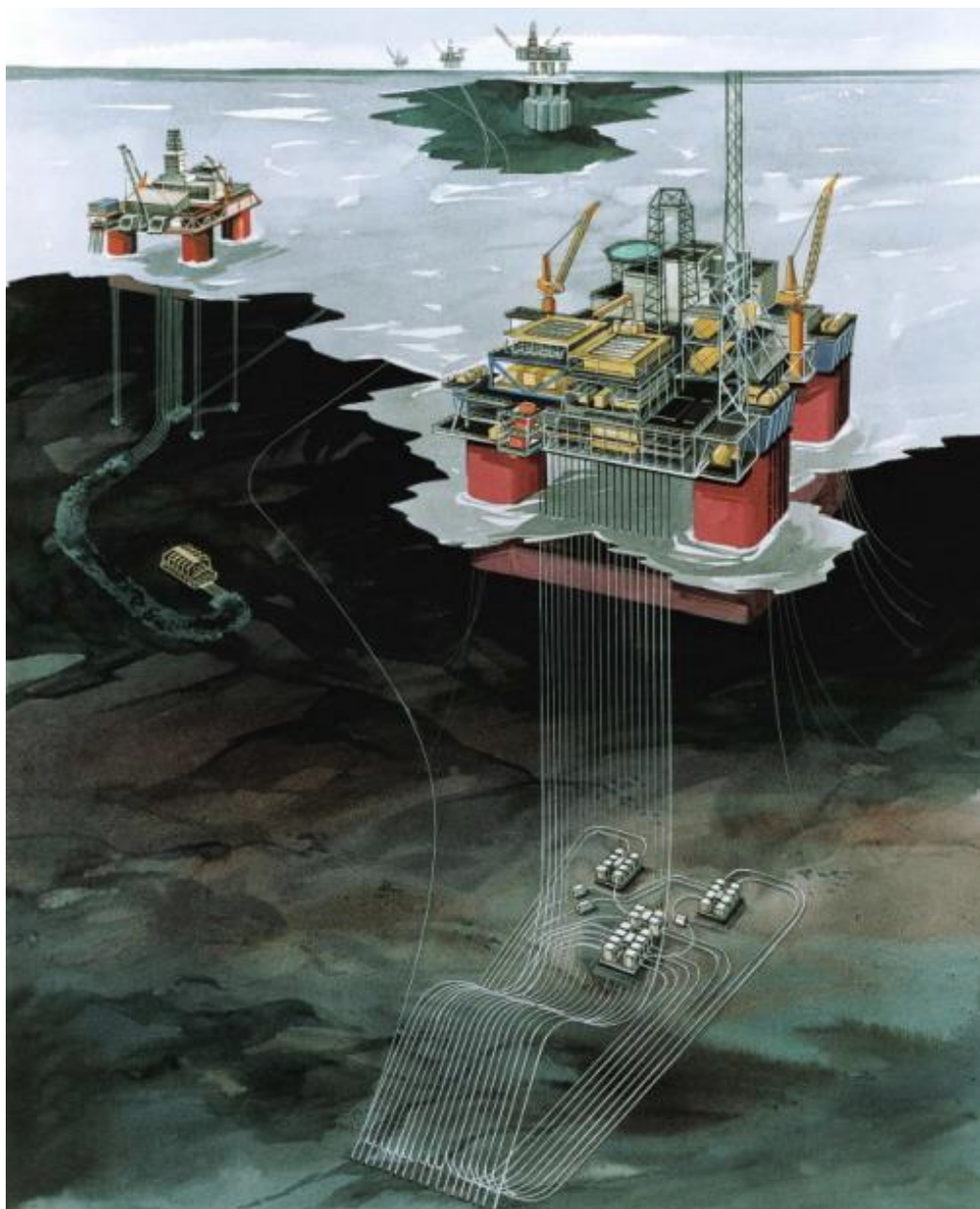
Öljynporausalus on alus, joka on varustettu porauslaitteistolla. Näitä käytetään useimmiten uusien kenttien tutkimus- ja koeporauksissa syvissä vesissä, yli 3000 metrissä. Porausalus on usein rakennettu säiliöaluksesta siten että sen runkoon on tehty tarvittavat muunnokset. Porauksessa on tärkeää, että porausalus kykenee pitämään paikkansa 1 metrin tarkkuudella porauskaivon yläpuolella, niin matalassa kuin syvässäkin vedessä. Ainoastaan siinä tapauksessa aluksessa kiinni oleva joustava porausputkisto pystytään pitämään oikeassa asennossa esiintymään nähden. Tämän takia porausalukset varustetaan DP-laitteistolla.



Kuva 8. Pacific Santa Ana operoi 3600 metrin syvyydessä vedessä ja poraa 12200 metrin syvyyteen asti (Pacific Drilling, 2011)

3.2.7 Puoluppolautta (*Semi-Submersible Platform*)

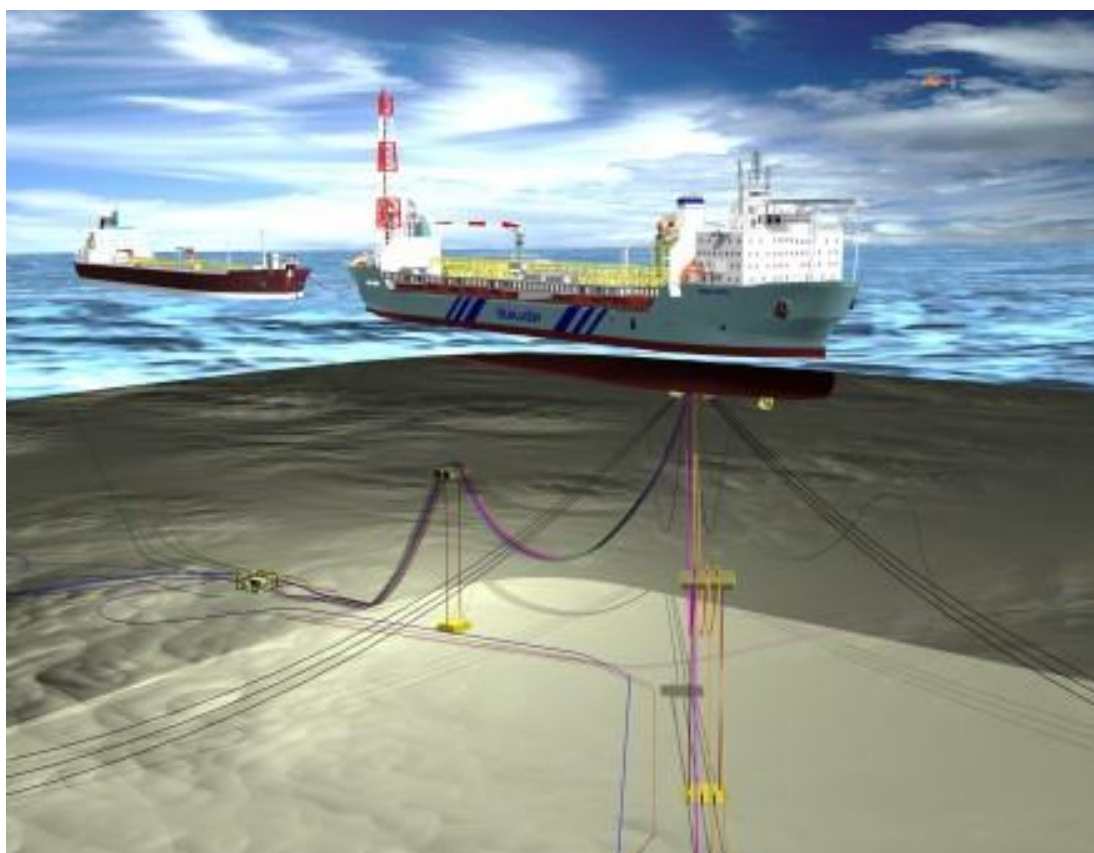
Puoluppolautat ovat jack-up-lauttojen tapaan kelluvia ja liikuteltavia lauttoja ja niitä käytetään syvemmissä vesissä, aina 1000 metriin asti ja syvemmällekin. Toisin kuin jack-up-lautat, puoluppolautat kelluvat aina. Ne ovat suunnittelultaan TLP:n kaltaisia, mutta ilman jäykkää ankkurointia. Saavutettuaan oikean porauspaikan, lautta ankkuroidaan ja sen syvyyttä lisätään painolastiveden avulla. Näin lautta kelluu syvemmällä ja vakavuus on parempi. Joustava ankkurointi mahdollistaa lautan liikkehdinnän merenkäynnin mukaan ja niissä käytetään usein joustavaa putkistoyhteyttä vedenalaiseen kaivoon. Osa puoluppolautoista on myös varustettu DP-laitteistolla, jolloin poraus on mahdollista erittäin syvissä vesissä.



Kuva 9. Ankkuroitu puoluppolautta etualalla (Devold, 2010)

3.2.8 Öljyntuotanto-, varastointi- ja purkausalus (FPSO)

FPSO on alus, joka on kehitetty eritoten öljyn- ja kaasuntuotantoon, -varastointiin ja -purkamiseen. Ne on rungoltaan tankkilaivan tyyppisiä ja muunnettu usein jo olemassa olevasta raakaöljytankkerista (*VLCC* tai *ULCC*). FPSO on suunniteltu vastaanottamaan hiilivetyjä lähialueen porauslaitoilta ja vedenalaisilta tuotantokentiltä, prosessoimaan ne ja varastoimaan prosessoitu öljy aluksen omiin tankkeihin. FPSO:n etuna on, että se on itsenäinen yksikkö, joka ei tarvitse ulkoisia varastointitankkeja. Öljy puretaan sukkulatankkeriin tai suoraan putkistoon, joka menee maihin öljy- tai kaasujalostamolle.



Kuva 10. Ankkuroitu FPSO, joustava putkisto ja sukkulatankkeri (Offshore.no, 2013)

4 OFFSHORE – KENTÄN ELINKAARI

Offshore-kentän, kuten minkä tahansa valmistettavan tuotteenkin, elinkaari alkaa suunnittelusta. Tuotteen tai tuotannon elinkaari kuvaa sen elämää ja elämän eri vaiheita suunnittelusta tuotannon loppumiseen ja rakennelmien purkamiseen. Ennen kuin kentällä voidaan tuottaa jo löydettyä öljyä ja kaasua, täytyy siellä tehdä tutkimuksia ja saada varmuus esiintymästä. Tutkimukset ovat tärkeä indikaattori tulevaisuuden tuotannosta. Voi kestää useita vuosia, jopa 15 vuotta, tutkimuksen suunnittelun alkamisesta ennen kuin esiintymästä pumpataan öljyä ulos. Esimerkkinä Goliat-kenttä Barentsinmerellä, joka löydettiin vuonna 2000 ja jonka tuotannon on suunniteltu alkavan loppuvuodesta 2013. (Hansen & Rasen 2012, 110.)

Offshore-kentän elinkaari voi olla hyvin pitkä; maailman vanhin yhä toiminnassa oleva porauslautta, Neft Daşları Kaspianmerellä on jo yli 60 vuotta vanha. Elinkaaren aikana kentällä ja sen ympäristössä ehtii tapahtua paljon. Siellä tehdään jatkuvasti huolto-, uusinta- ja korjaustöitä, ja kehitetään tuotantoa tehostavia innovaatioita. Kaikkiin näihin toimenpiteisiin tarvitaan erilaisia erikoisaluksia; pelkkä porauslautta tai -alus ei pysty suorittamaan näitä toimenpiteitä. Jokaisessa kentän elinkaaren vaiheessa käytetään erikois- ja tukialuksia, jotka ovat suunniteltu operoimaan offshore-kentällä.

4.1 Etsintä ja seisminen tutkimus

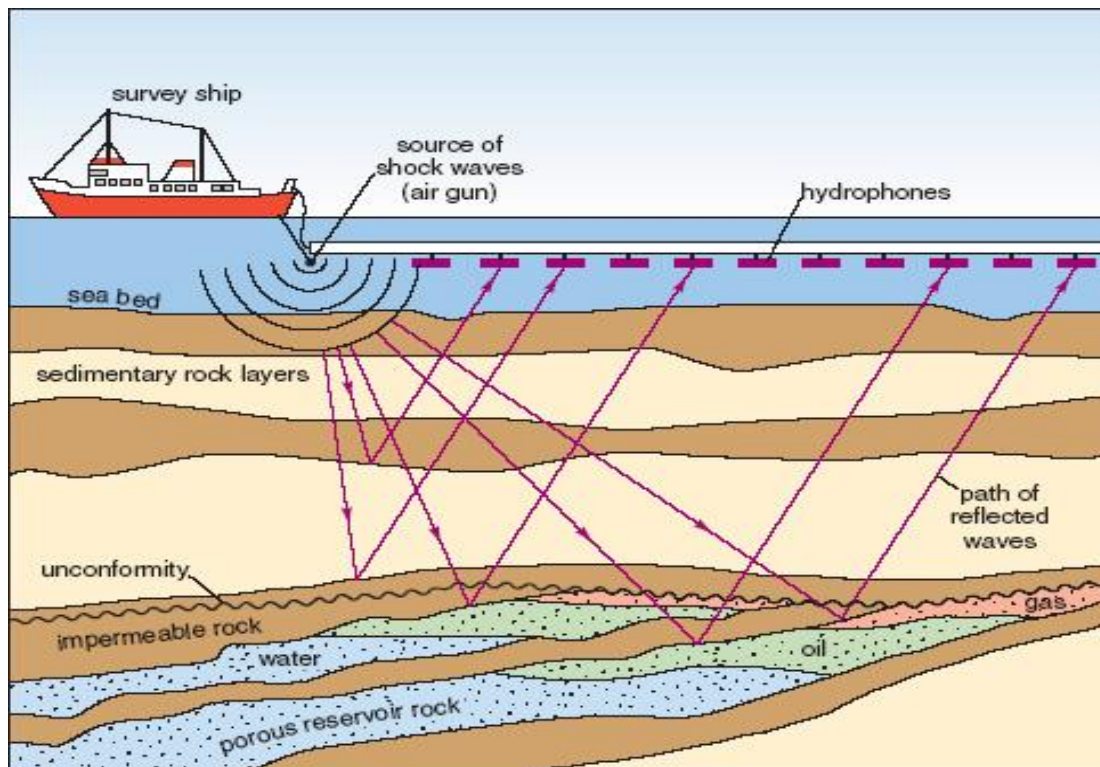
Offshore-kentän elinkaari alkaa suunnittelusta. Geologisin perustein valitaan alueita, joilta lähdetään etsimään ja tutkimaan mahdollisia esiintymiä. Etsintä ja tutkiminen on aikaa vievää ja kallista puuhaa. Tyypillisen Pohjanmerellä sijaitsevan matalan veden esiintymän tutkiminen voi maksaa kymmeniä miljoonia euroja syvän meren esiintymien kustannusten ollessa satoja miljoonia euroja. Etsintää ja tutkimista tekevätkin yleensä isot öljy-yhtiöt ja valtiot. Toki pienemmätkin yritykset etsivät hiiliveyesiintymiä, mutta se tapahtuu yleisemmin maissa, jolloin kustannukset ovat huomattavasti pienemmät. Etsintä- ja porausteknologian kehittyessä, öljyä ja kaasua löydetään uusilta alueilta maapallolla ja niitä pystytään poraamaan yhä hankalammissa paikoissa. Keski- ja Etelä-Amerikan ja Afrikan rannikoilta on löydetty suuria esiin-

tymiä usean tuhannen metrin syvyydestä. Aikaisemman tietämyksen avulla näiden esiintymien löytäminen ei olisi ollut edes mahdollista.

Öljyn- ja kaasuntuotanto merellä ei olisi mahdollista ilman merenpohjaan sijoitettavia rakennelmia ja putkistoja. Niiden rakentaminen edellyttää alueen merenpohjan tarkkaa tutkimista, kuten reittien ja putkilinjojen tutkimista ja merenpohjan kartoittamista. (DeepOcean 2012.)

4.1.1 Seisminen mittaus

Seismissä mittauksessa tuotetaan keinotekoisesti voimakkaita ääniaaltoja, seismisiä aaltoja, jotka ammutaan merenpinnalta lähetinyksiköstä (*air gun*) merenpohjaan. Nämä aallot auttavat luomaan kuvan syvällä merenpohjan alapuolella olevan kiven rakenteesta. Osa seismisistä aalloista heijastuu takaisin hydrofoneihin (*hydrophone*) osuttuaan merenpohjaan ja osa jatkaa matkaansa kunnes saavuttaa toisen kallioperäkerroksen ja heijastuu sieltä takaisin (Kuva 11). Hydrofonit ovat veden alla käytettäviä mikrofoneja, jotka ottavat ääniaaltoja vastaan. Mittausyksiköt mittaavat paluuaallon voimakkuuden ja ajan, joka kului aallon matkaan läpi maankuoren kerrosten ja takaisin sensoreihin. Aallon amplitudi antaa tietoa heijastavan kiven tiheydestä. Takaisin heijastuneet ääniaallot prosessoidaan tietokoneella näytettäväksi viivakuvioiksi tutkimusalueen merenpohjasta. Tätä menetelmää kutsutaan seismiseksi mittaukseksi ja siitä saatua dataa seismografiksi. Aivan kuten lääkärit käyttävät röntgeniä nähdäkseen ihmisen vartaloon, geologit tutkivat seismisen mittauksen dataa saadakseen tietoa merenpohjan kerrostumista. (Holmager 2010, 24.)



Kuva 11. Seisminen mittaus (Geomatic Solutions, 2013)

Potentiaalistien ja tunnettujen öljy- ja kaasuvarantojen etsiminen, tutkiminen ja kartoittaminen on yksi yleisimmistä käyttökohteista seismiselle datalle. Seismisellä mitauksella voidaan tutkia hiilivetyjen muodostumista ja niitä ympäröiviä geologisia muotoja. Periaate on sama sekä maanpinnalla että merellä tehtävällä tutkimuksella. Yleensä öljy-yhtiöt suunnittelevat seismiset tutkimukset, jotka sitten toteutetaan rahtaamalla jonkin varustamon seisminen alus suorittamaan luotaukset. Sen jälkeen kolmas yritys käsittelee datan. Data voidaan käsitellä myös aluksella, kuten edellä on mainittu. Valmiiksi käsitelty seisminen data toimitetaan öljy-yhtiölle tulkittavaksi.

Suurin osa öljynetsinnän kustannuksista aiheutuu geofysiikasta ja suuren riskin projekteista, kuten koeporauksista tuntemattomilla alueilla. Tänä päivänä vain noin joka kymmenestä tuntemattomilla alueilla koeporatuista kaivoista löytyy taloudellisesti kannattavia hiilivetyjä. Geofysiikan ansiosta merenpohjan kerrostumien kuvantaminen ennen koeporauksia on mahdollista. Näin voidaan välttää ns. kuivat esiintymät vaikkakin vasta poraus näyttää onko öljyä tai kaasua todellisuudessa olemassa. (Holmager 2010, 25.)

Seisminen mittaus voidaan jakaa 2D-, 3D- ja 4D-tekniikkaan. 3D-tekniikassa dataa saadaan paljon tiheämmin kuin 2D-tekniikassa. Näin ollen mittausdatasta pystytään luomaan myös maankerrostumien 3D-mallinnuksia. Neljäs ulottuvuus tarkoittaa aikaa. Silloin mittausdata on hankittu toistuvasti samalta alueelta kuukausien tai vuosien aikana myös tuotannon aikana. Sen tähden aineiston tiheys mittausalueella on korkeampi kuin 3D-tekniikassa.

4.1.2 Seismiset alukset

Parhaiden mahdollisten esiintymien paikannukseen ja tutkimiseen käytetään seismistä alusta. Seismiset alukset on pääosin suunniteltu tekemään ainoastaan seismistä mittausta. Vaikkakin kaikki alukset ovat erilaisia, seismisissä aluksissa on tyypillisesti suuri ja avoin peräkansi, jolle hinattavat tutkimusvarusteet sijoitetaan. Yksi tärkeimmistä tutkimukseen käytetyistä varusteista on kaapelit (*streamer*), jotka on varustettu useilla hydrofoneilla. Kaapelit varastoidaan suurille keloille, joilta ne pystytään laskemaan veteen hinaukseen työalueelle saavuttaessa. Kaapelien lukumäärä riippuu aluksen tyypistä ja koosta sekä mittaustekniikasta. 2D-tekniikassa käytetään yhtä ja 3D-tekniikassa jopa yli 12 kaapelia. Kaapelit on varustettu paikanmäärityslaitteilla, jotka on asennettu kauimmaisten kaapeleiden päissä oleviin poijuihin. Näin pysytään jatkuvasti ajan tasalla jopa useiden kilometrien pituisten kaapeleiden sijainnista. Peräkannen nosturit ja vinssit mahdollistavat raskaiden varusteiden käsittelyn.

Seismiset alukset tekevät myös muita tutkimusoperaatioita, kuten esim. merenpohjan kartoitusta ja merentutkimusta. Näihin operaatioihin tarvittavia varusteita ovat mm.

- viistokaikuluotain,
- tutkimuskaikuluotain,
- monikeilakaikuluotain,
- pohjasedimenttien näytteenottovälineet.

Seismisissä aluksissa on erikseen instrumenttihuone, jossa säilytetään, testataan ja korjataan seismisiä tutkimuslaitteita. Instrumenttihuoneesta käsin myös operoidaan laitteita ja prosessoidaan tuotettua dataa. Yleensä se on sijoitettu peräkannen keulan-

puolelle. Siellä on myös toistimet kaikkiin navigointiin liittyviin laitteisiin, kuten kompassiin ja paikanmäärittelyyn, jotta operaattori pystyy seuraamaan aluksen kulkua. Sieltä on myös radiopuhelinyhteys komentosillalle, jotta kommunikointi vahtipäällikön kanssa on mahdollista.

Kaikki vedenalaiset operaatiot vaativat seismistä tutkimusta seismisellä aluksella. Ainoatakaan esiintymää ei löydetäisi ilman seismisiä aluksia ja seisminen tutkimus onkin sellainen teknologian taidonnäyte, jolla on kyky tuottaa enemmän menestystä kuin tappioita huonostikin tuottavilla kentillä.

4.2 Poraus ja öljyesiintymän valmisteleminen

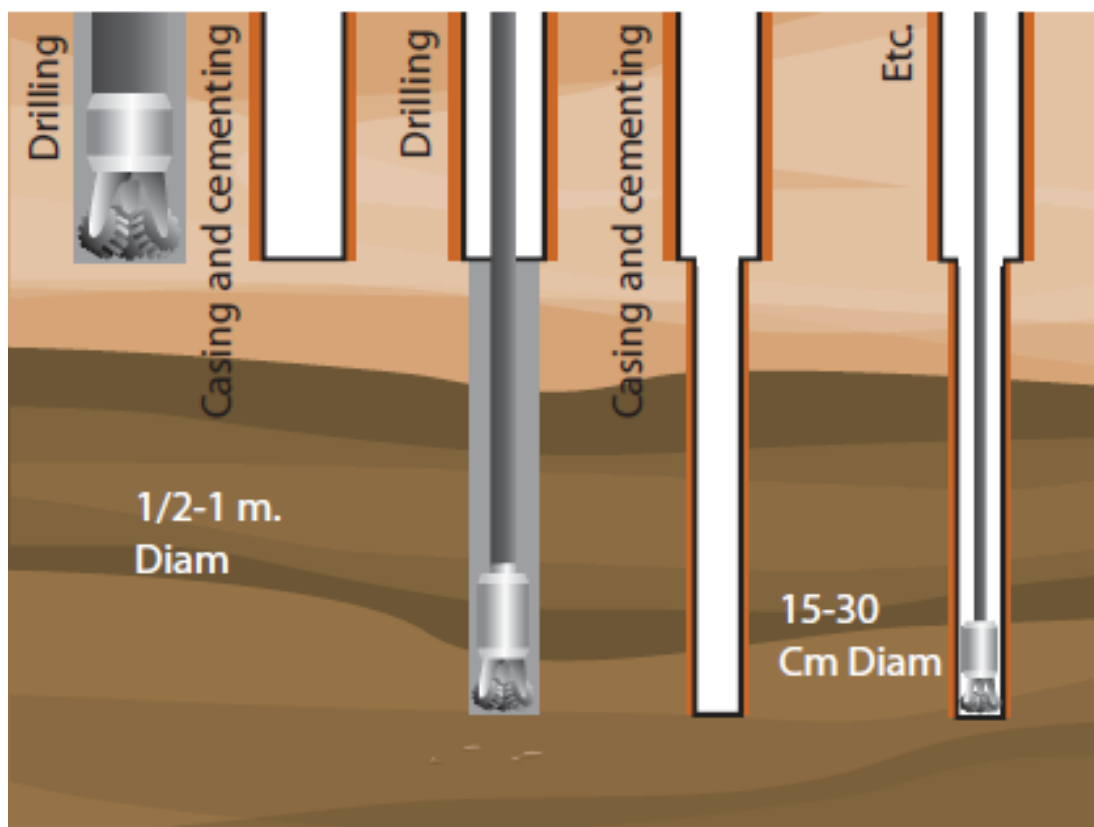
Seismisten mittausten ja tutkimusten jälkeen tehdään päätös koeporauksesta. Silloin myös tiedetään oikea paikka, johon porauslautta tai -alus sijoitetaan. Tämän jälkeen merenpohjaan lasketaan porauskehikko (*drilling template*) tarkalleen oikeaan paikkaan merkitsemään esiintymää ja sen sijaintia. Porauskehikko on metallirakennelma, jossa on reikiä, ja jonka avulla pystytään poraamaan tarkasti, merenkäynnistä huolimatta. Kehikon koko ja reikien määrä riippuvat porattavien esiintymien määrästä ja niiden sijoittumisesta kentälle.



Kuva 12. Porauskehikon uittaminen paikalleen asentamista varten (Claxton, 2013)

Esiintymään päästään käsiksi poraamalla kaivo maankuoreen lautalta tai -alukselta käsin. Ensimmäisen reiän poraamisen jälkeen reikään asennetaan teräsputki, joka on

hieman pienempi kuin porattu reikä. Teräsputki täytyy suojata sementillä, koska työskentely tapahtuu ns. korkean paineen vaaravyöhykkeellä. Sementoinnin tarkoituksena on suojata vasta porattua reikää sortumiselta. Reiän poraamista jatketaan yhä syvemmälle ja syvemmälle maankuoreen pienentämällä poranterän halkaisijaa 2-5 kertaa ja asentamalla aina pienempi teräsputki ja sementtisuoja reikään (Kuva 13). Näin jatketaan kunnes pintaan nousevan porausmudan seassa oleva porausjäte paljastaa mahdollisen esiintymän. Kun esiintymä saavutetaan ja teräsputkesta ja sementoinnista koostuva suojakuori on valmis, porauslaitteet poistetaan kaivosta ja mittaus-ten avulla varmistetaan löydös. Näitä mittauksia ovat mm. kivimuodostumien mittaaminen, paineen mittaaminen ja kiviäytteiden ottaminen. Kun oikea poraussyvyys on saavutettu ja löydös varmistettu lasketaan kaivoon tuotantoputki öljyä varten. Tällaisen järjestelmän tarkoituksena on olla suojana mahdollisen vuodon sattuessa hiilivetyjen virratessa ulos maan sisältä. Järjestelmän tarkoituksena on myös mahdollistaa vaurioituneiden osien korjaaminen. (Holmager 2010, 27.)



Kuva 13. Öljyesiintymän poraaminen (Holmager, 2010)

4.2.1 Porausmuta

Öljykaivoa porattaessa käytetään porausmutaa, jonka tehtävänä on

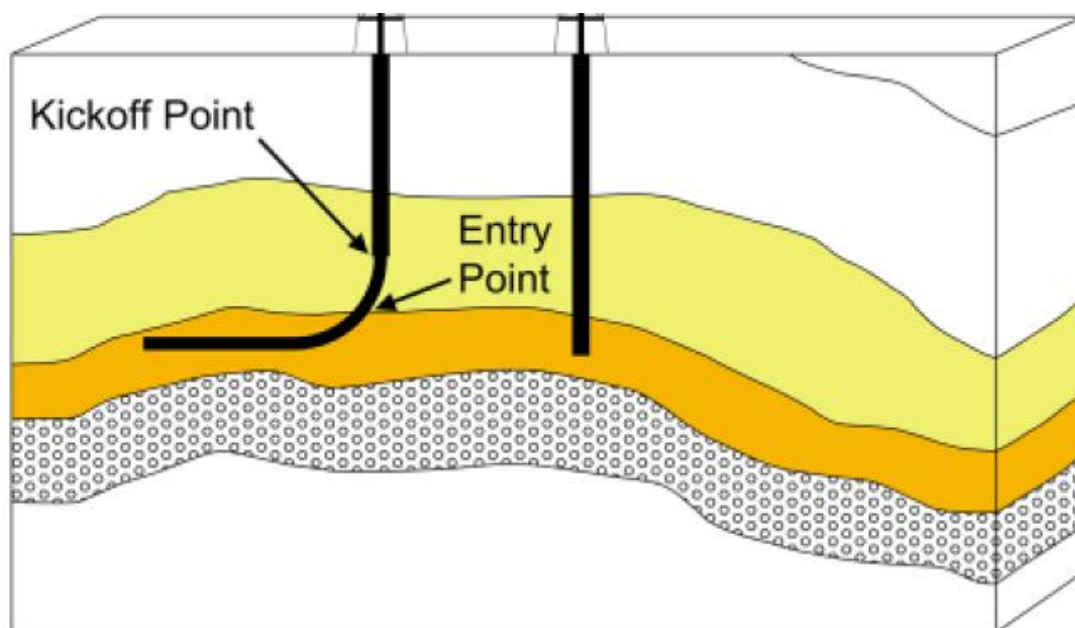
- voidella poranterää, laakereita, pumppua ja porausputkea,
- puhdistaa ja jäähdyttää poranterää kalliota poratessa,
- antaa tietoa poraajille siitä, mitä alhaalla porausreiässä tapahtuu tarkkailemalla mudan käyttäytymistä, virtausta, painetta ja koostumusta,
- kuljettaa porausjätettä ylöspäin suodatettavaksi.

Porauslautalla tai -aluksella on normaalisti kaikki porausmudan kiertoon, putken käsittelyyn, paineen tarkkailuun ja porausjätteen poistoon tarvittavat varusteet. (Holmager 2010, 31.)

Suodatettu porausmuta saattaa sisältää kaasuja tai muita syttyviä materiaaleja, jotka kerätään talteen suodatusalueella. Näin ollen työalueella on aina tulipalon tai räjähdysriski ja siellä tulee noudattaa tarkasti annettuja turvallisuuskäytäntöjä ja ohjeita, kuten on yleistä kaikessa offshore-toiminnassa.

4.2.2 Vaakasuorat poraukset

Öljynporauksessa puhutaan öljylähteistä, mutta todellisuudessa itse hiilivedyt sijaitsevat hiukkasina huokoisessa kivessä. Öljy myös liikkuu näissä huokoisissa kivissä, mutta hyvin hitaasti. Perinteisesti pystysuoraan porattaessa, porausreikä osuu vain kapeasti siihen maan kerrostumaan missä esiintymä sijaitsee, kun vaakasuoraan porattaessa pystytään poraamaan nimenomaan sitä maan kerrostumaa pitkin, jossa esiintymä on. Operaattori pystyy tarvittaessa muuttamaan poranterän suuntaa porauslautalta käsin, jolloin kääntösäde on noin 100 metriä. Vaakasuoraan porattaessa vältetään monien kaivojen poraamiselta. Sen sijaan, että porattaisiin 20 kaivoa pystysuoraan saattaa vaakasuoraan porattaessa riittää pari kolme kaivoa. (Helms 1.)



Kuva 14. Vaaka- ja pystysuoraan poraamisen ero (Helms)

4.2.3 Öljyesiintymän valmisteleminen tuotantoa varten

Ennen kuin öljyesiintymää aloitetaan valmistelemaan tuotantoa varten, tehdään siellä lukuisia mittauksia. Mittausten perusteella arvioidaan onko kyseessä kannattava esiintymä tuotantoa ajatellen vai tukitaanko ja hylätään ko. esiintymä. Kun esiintymä on todettu tuotantokelpoiseksi, viimeistellään se asentamalla porauskaivoon tuotantoputki ja pumppu. Ennen varsinaisen tuotannon aloittamista varmistetaan vielä, että hiilivetyjen virtaus on riittävä huuhtelemalla kaivoa. Se tarkoittaa, että kaivosta huuhdellaan porausmuta pois pumppaamalla sinne vettä tai suolaliuosta. Tavallisesti kaivon huuhtelu on riittävä toimenpide riittävän hiilivetyvirtauksen aikaansaamiseksi.

Esiintymien oman luonnollisen paineen ja hiilivetyjen vettä pienemmän tiheyden ansiosta hiilivedyt virtaavat useimmiten itsestään ulos esiintymästä (Petroleum Communication Foundation, 2). Poikkeuksena ovat kuitenkin erittäin raskas raakaöljy ja bitumi, jotka ovat hyvin paksuja ja huonosti virtaavia. Sen lisäksi esim. tyhjäntyvissä esiintymissä paine laskee luonnostaan. Esiintymän helpompaan hyödynnettävyyteen auttaa mm. pienemmän halkaisijan omaavan putken asentaminen kaivoon tai keino-tekoiset menetelmät. Tavallisena ratkaisuna käytetään uppopumppua (*down hole pump*), joka lasketaan putkea pitkin alas asti, jolloin öljyn tai kaasun pumppaaminen

kaivosta on mahdollista. Sen lisäksi on tavallista että nk. injektioesiintymään pumpataan joko vettä tai kaasuja paineen nostamiseksi tai kemikaaleja juoksevuuden muuttamiseksi. Myös höyryn käyttö on normaalia muutettaessa erittäin raskaan raakaöljyn ja bitumin juoksevuutta sekä kaivosta ulos saamiseen että kuljetuksen aikana. Näitä vaihtoehtoja käydään tarkemmin läpi luvussa 4.3.1.

4.3 Öljyntuotanto

Öljyntuotanto alkaa usein noin 10 vuotta sen löytymisen jälkeen. Hiilivetyesiintymän löytymisen ja tuotannon aloittamisen välisenä aikana tehdään tutkimuksia, suunnittelua, tuottavuuslaskelmia, koeporauksia ja esiintymän valmistelua tuotantoa varten. Tuotantovaihe on kaikkein tärkein vaihe hiilivetyesiintymän elinkaaren aikana. Se voi kestää useita kymmeniä vuosia ja sen aikana kentällä tapahtuu paljon erilaisia operaatioita. Ennen tuotantovaihetta, poraukseen ja kaivon valmisteluun käytetty porauslautta tai -alus siirretään pois kaivolta ja sen päälle voidaan asentaa kansi ja jakotukki, jota kutsutaan ”joulukuuseksi”. Porauslautta tai -alus voidaan myös korvata tuotantolautalla tai -aluksella, jolloin jakotukki voi sijaita siellä. Vedenalaista tuotantolaitosta, johon kansi ja ”joulukuusi” liittyvät, käsitellään luvussa 4.3.2.



Kuva 15. Jakotukin asentaminen merenpohjaan (Offshore.no, 2013)

4.3.1 Öljyn talteenottotekniikat

Hiilivetyesiintymän tuotannon aikana joudutaan käyttämään eri tekniikoita, jotta esiintymää pystyttäisiin hyödyntämään mahdollisimman hyvin. Tuotannon aikaiset vaiheet ja tekniikat jaetaan yleisesti primääri-, sekundääri- ja tertiäärivaiheeseen.

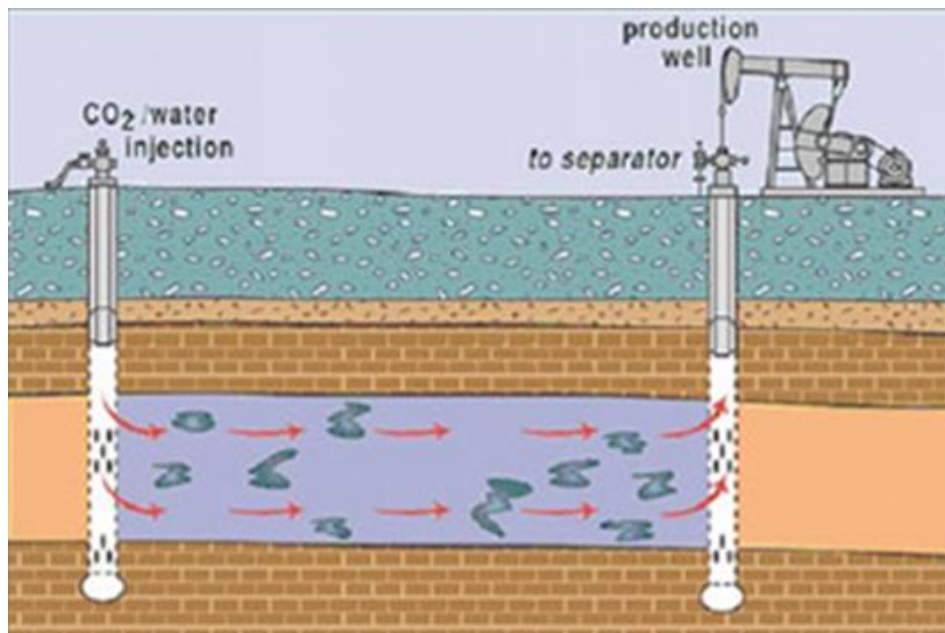
Primäärivaihe on ensimmäinen tuotantovaihe. Primäärivaiheessa kaivo on porattu esiintymään asti ja hiilivedyt virtaavat esiintymän ja kaivon paine-eron vuoksi porauskaivoon. Hiilivedyt pumpataan kaivosta mekaanisesti ylös. Tuotantoa jatketaan primäärivaiheen tekniikalla kunnes esiintymän paine ja tuotantomäärät laskevat niin alas ettei se ole enää taloudellisesti kannattavaa. Primäärivaiheessa tuotetaan yleensä noin 10 % esiintymän varannosta. (Tzimas 2005, 21.)

Kun primäärivaihe ei ole enää kannattavaa otetaan sekundäärivaiheen tekniikoita käyttöön. Sekundäärivaiheen tekniikat ovat kasvavassa määrin tärkeitä hiilivetyesiintymien hyödyntämisessä ja voivat nostaa tuottavuutta jopa 40 % primäärivaiheeseen verrattuna. Erilaisia metodeja on kehitetty esiintymien parempaan hyödynnettävyyteen öljyn ja kaasun hintojen noustessa. Tässä vaiheessa käytetään kolmea eri tekniikkaa:

1. Vesi- ja kaasuinjektio on useimmiten käytetty tekniikka. Vettä injektoidessa esiintymän paine kasvaa ja työntää öljyä kaivoon. Kaasu laajenee kun sitä injektoidaan esiintymään, jolloin se pakottaa öljyn porauskaivoon.
2. Terminen talteenotto perustuu lämpöön, jolloin höyryä tai kuumaa vettä injektoidaan esiintymään. Se saa aikaiseksi viskositeetin muutoksen ja helpottaa öljyn virtaamista porauskaivoon.
3. Kemikaali-injektio on vähiten käytetty tekniikka. Siinä käytetään liuoksia, jotka on muodostettu polymeereista ja vedestä. Niiden tarkoituksena on vähentää öljyn ja veden välistä kitkaa, laskea öljyn viskositeettia ja parantaa virtausta. (Tzimas 2005, 22)

Tertiäärivaiheessa esiintymän ikä alkaa lähennellä jo loppua. Tertiäärivaihe on kuitenkin tärkeä osa parannettaessa kokonaistuotantoa ja voikin sitä vielä kasvattaa 5-15 %. Tässä vaiheessa injektoidaan mm. hiilidioksidia injektiokaivoon. Kehityksen

mennessä eteenpäin eri tekniikoita on ruvettu käyttämään sekaisin, jotta löydetään paras mahdollinen tuotantovolyymi. Näin ollen esim. erittäin raskaiden öljyjen tuotannossa voidaan käyttää jo alkuvaiheessa sekundääri- ja tertiäärivaiheen tekniikoita. (Tzimas 2005, 22.)



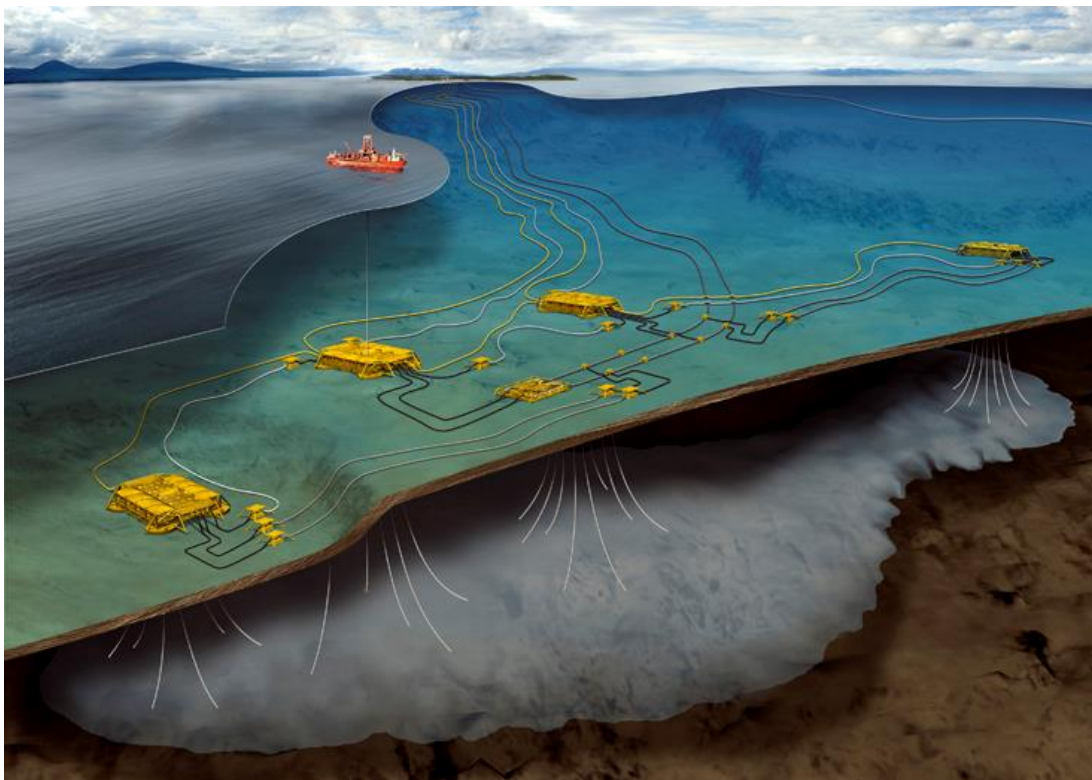
Kuva 16. Injektointikaivon kautta esiintymään injektoidaan eri aineita tuottavuuden parantamiseksi (Rigzone, 2013)

4.3.2 Vedenalaiset tuotantolaitokset (*Subsea Production System*)

Öljyn- ja kaasunporauksen kehittyminen on vienyt osan toiminnasta merenpinnan alapuolelle. Erittäin syvissä vesissä vedenalaiset tuotantolaitokset ovat hyvin tärkeässä roolissa. Käytännössä perinteisiä poraus- ja tuotantolauttoja saattaa olla veden syvyyden takia mahdottomia käyttää. Tällöin tarvitaan vedenalaisia tuotantolaitoksia.

Vedenalainen tuotantolaitos on merenpohjassa oleva laitos, joka mahdollistaa hiilivedyiden siirtämisen offshore-kentältä maihin. Vedenalainen tuotantolaitos tarkoittaa rakennelmaa joka on ja toimii merenpohjassa; kaikki siihen liittyvät laitteet ja tarvikkeet ovat meren alla. Kun perinteinen tuotantolautta sijaitsee aina yhden öljykaivon päällä kerrallaan, vedenalaisia tuotantolaitoksia voi olla useita ja ne voivat sijaita missä tahansa kentällä ilman tukialusta. Osa laitoksista toimii ilman kentällä tapahtuvaa jalostamista, jolloin hiilivedyt pumpataan sellaisenaan putkia pitkin jalostamoille maihin. Niitä on kehitetty hyvin paljon viime vuosina ja niitä käytetään moneen eri

tarkoitukseen. Osa vedenalaisista kentistä toimii ilman tuotantolauttaa tai FPSO:ta, osalla kentistä taas on myös erilaisia tuotantolauttoja ja -aluksia.



Kuva 17. Ormen Lange - vedenalainen kaasunporauskenttä (Shell, 2013)

Olennaisena osana vedenalaista tuotantojärjestelmää ja huolto-operaatioita tehtäessä, ovat seuraavat laitteet:

- öljy- ja kaasuesiintymän ja porausreiän päällä oleva kansi (*wellhead*), joka suojaa ja eristää porauskaivon,
- jakotukki (*Xmas tree*), jossa on venttiileiden ja pumppujen kauko-ohjausjärjestelmä, jolla säädetään kaivosta tulevien hiilivetyjen painetta ja tarkkaillaan virtausnopeutta. (Dulger 2012, 18-19.)

Kansi mahdollistaa myös pääsyn porauskaivolle kun huoltotyöt tai tuotannon alas ajaminen tulee ajankohtaiseksi. Kaikkia vedenalaisia laitteita huolletaan ja korjataan merenpinnalta, offshore-alukselta.

Norjan mannerjalustalla testattiin vedenalaista öljyntuotantoa jo 1970-luvulla. Ensimmäisten projektien aikana kysymyksenä oli lähinnä se oliko mahdollista siirtää

tuotantoon tarvittava laitteisto merenpohjaan ja yhdistää useampi esiintymä yhteen vedenalaiseseen rakennelmaan. 2000-luvun vaihteessa laitteita oli kehitetty jo niin pitkälle, että öljyä pystyttiin pumppaamaan merenpohjasta tuotantoalukseen. (Statoil 2012.)

4.3.3 Kuljetus öljy- ja kaasuputkissa

Kaikkein taloudellisin tapa kuljettaa suuria määriä hiilivetyjä on kuljettaa ne putkilinjoja pitkin, joko maan päällä tai meren alla. Putkistot tehdään teräs- tai muoviputkista ja niissä voidaan kuljettaa useampia eri tuotteita. Tavallisesti monituoteputkissa ei ole fyysistä erottelua eri tuotteiden välillä, jolloin rajapinnassa tapahtuu pientä sekoittumista. Vastaanottava laitos erottelee sekoittuneet tuotteet toisistaan, ettei pilaantumista pääse tapahtumaan.

Myös merenpohjassa kulkevat putkistot lasketaan osaksi vedenalaisia tuotantojärjestelmiä. Putkistoja rakennetaan sekä kentiltä jalostamoille että jalostamoilta asiakkaille. Putkia pitkin kulkee yleisimmin kaasua ja esimerkiksi Statoil, maailman johtava syvänmeren teknologian käyttäjä, on rakennuttanut noin 8000 km kaasuputkia Norjan mannerjalustalta Eurooppaan. Putket lasketaan tai haudataan merenpohjaan putkenlaskualuksella. Putket täytyy haudata merenpohjaan sellaisilla merialueilla, joilla on vilkas liikenne ja ankkurointi mahdollista. Muualla putket voivat olla merenpohjan päällä. Putket ovat halkaisijaltaan tavallisesti 100–1000 millimetriä ja ne voidaan päällystää korroosiolta suojaavalla sementillä. Vuotojen ehkäisemiseksi putkia tutkitaan säännöllisesti ja korjataan tarvittaessa ROV-laitteilla. ROV on veden alla käytettävä työrobotti, joka on kehitetty operoimaan olosuhteissa, jotka ovat liian vaarallisia ihmiselle. ROV:t on varustettu videokameroilla ja hydraulisilla käsivarsilla. Putkien paineita myös tarkkaillaan jatkuvasti jotta välttyään vaurioilta.

Raakaöljy sisältää vaihtelevan määrän parafiinia jolloin kylmemmissä olosuhteissa, kuten merenpohjassa, vahaa kertyy putkien sisäseinämille. Putkien sisäseinämiä puhdistetaan säännöllisesti parafiinista ja muista kertymistä putken sisäpuolelle asennettavilla mekaanisilla pyyhkijöillä. Nämä pyyhkijät pystyvät myös keräämään tietoa putkessa mahdollisesti olevista vaurioista sensoreidensa avulla.

4.3.4 Tarkastus-, huolto- ja korjaustyöt

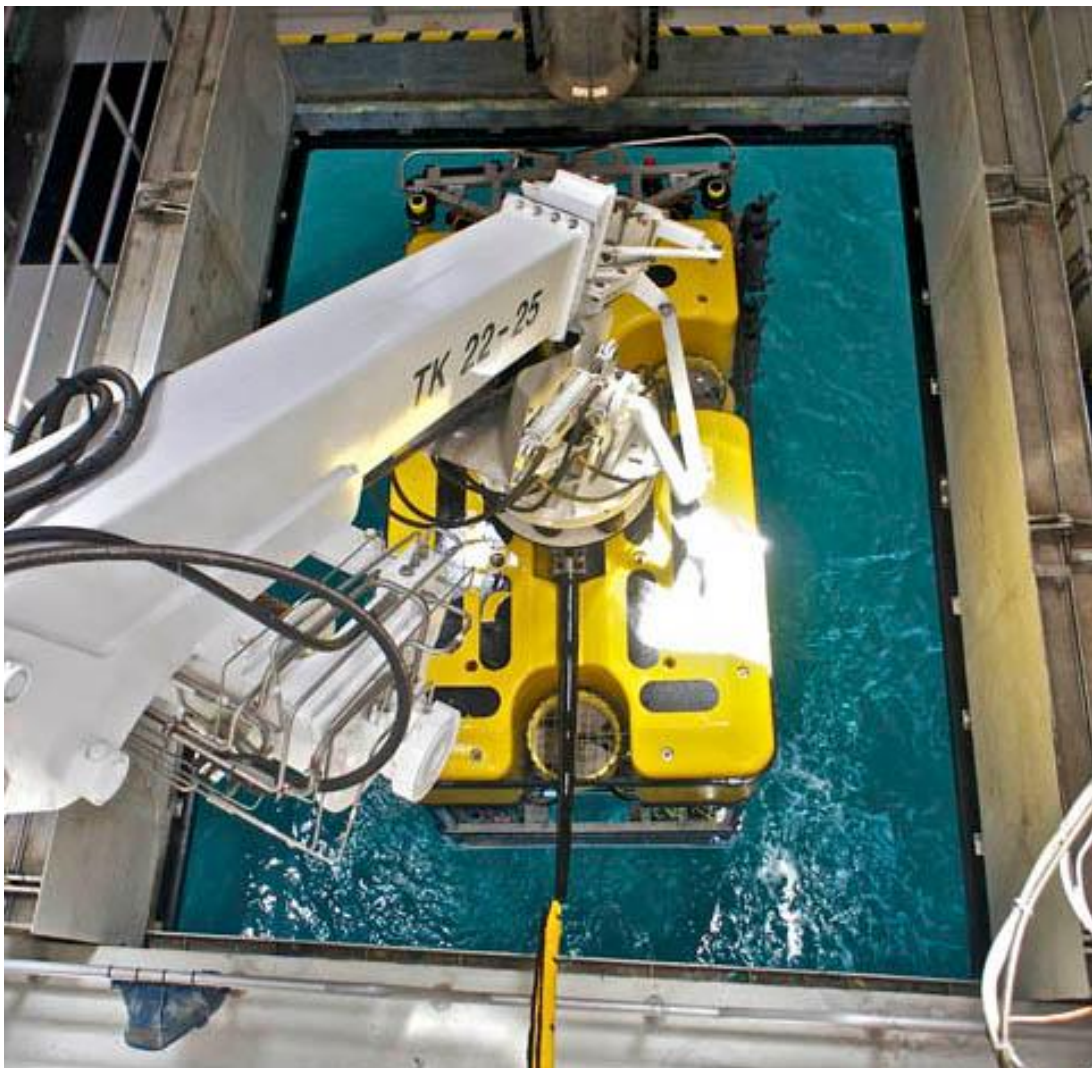
Tuotannossa olevasta esiintymästä halutaan hyödyntää jokainen pisara hiilivetyjä mahdollisimman edullisesti ja ilman seisonnapäiviä. Tämän takia erilaiset huolto- ja korjaustyöt ovat välttämättömiä turvaamaan ja kasvattamaan öljyn ja kaasun tuotantoa kentällä. Myös tuotannon heikentyminen voi vaatia tarkastus- ja huoltotoimenpiteitä, jotta voidaan selvittää ja korjata mahdollisia vaurioita rakennelmissa tai laitteissa. Nyt ja tulevaisuudessa, öljynporauksen ja tuotekehityksen mennessä yhä syvempiin ja syvempiin paikkoihin merialueilla, myös vedenalaisten tuotantolaitosten huolto ja korjaus ovat keskeinen aihe alalla työskentelevillä yrityksillä. Nämä laitokset sijaitsevat usein muutaman tuhannen metrin syvyydessä ja niissäkin esiintymissä yritetään päästä yhtä hyvään tuotantoon kuin perinteisillä kentillä. Tyypillisimpiä operaatioita ovat eri talteenottotekniikoiden käyttö, huolto- ja korjaustyöt öljykaivon rakennelmille, vedenalaisille tuotantolaitoksille ja sähkökäyttöisille uppopumppujärjestelmille. (Zijderfeld 2012, 12.)

Offshore-kentän elinkaaren aikaisista tarkastus-, huolto- ja korjaustöistä suurin osa tehdään tuotantojakson aikana, joka on myös pisin ajanjakso koko elinkaarta tarkastellessa. Ensimmäiset työt aloitetaan jo heti kun kaivo on valmisteltu tuotantoa varten ja tuotanto on päässyt alkamaan. Varusteet ja työkalut, joita käytetään tällaisissa operaatioissa, on valmistettu ja tyyppihyväksytty nimenomaan näihin vaikeisiin ja vaarallisiin olosuhteisiin ottaen huomioon kova paine ja kylmyys, jotka vallitsevat merenpohjassa ja rankat sääolosuhteet merenpinnan yläpuolella. Myös alukset, joita käytetään näissä operaatioissa, on varusteltu tiukkojen offshore-vaatimusten mukaan niin miehistön kuin laitteistonkin osalta. Tämän kaltaisissa operaatioissa pääosassa on aina henkilöstö ja sen turvallisuus unohtamatta ympäristöä ja sen puhtaana pitämistä. Henkilöstön yhteistyö on ratkaisevaa puhuttaessa työturvallisuudesta, jonka takia pidetään turvallisuus-kokous aina ennen työn aloittamista. Tällaiseen turvallisuus-kokoukseen osallistuu aina koko työhön osallistuva henkilökunta.

Alukset, joita käytetään tarkastus-, huolto- ja korjaustöissä on varustettu DP-laitteistolla. Ne käyttävät omaa propulsiovoimaa siirtoajoihin ja ovat DP-moodi päällä työalueella. Työskentely kentällä saattaa kestää hyvinkin pitkään, jolloin tarvitaan tukialuksia kuljettamaan alukselle kulutustavaraa ja provianttia sekä jätteitä pois päin.

Tämän kaltaiset alus-alus operaatiot eivät saa häiritä aluksen tarkastus-, huolto- tai korjaustöitä ja tavaroiden siirrot suoritetaan nostureita käyttäen. Itse huolto- ja korjaustyöt tehdään aluksen moonpoolin kautta (Kuva 18). Moonpool on aluksen keskellä oleva suljettava aukko, jota kautta voidaan laskea sukeltajat, ROV tai muita laitteita mereen. Sen sijainti aluksessa on suunniteltu siten, ettei aluksen propulsiot häiritse sen kautta tapahtuvaa operointia ja ettei operaatiot häiritse DP:ssä olemista. Moonpool antaa myös suojaa merenkäynniltä, jotta työskentely olisi helpompaa kuin ulkokannella. Jotkin operaatiot, kuten vedenalaisten tuotantolaitosten asennukset ja huollot voidaan tehdä kannelta käsin käyttäen kohoilu kompensoitua nosturia. Tällaisissa operaatioissa on aina otettava ympäristön olosuhteet huomioon ja kaikille operaatioille ja aluksille on asetettu tarkat rajat milloin työskentely tulee lopettaa. Näissä rajoissa otetaan huomioon merenkäynnin aiheuttama liikehdintä ja räsäykset aluksessa ja sen varusteissa. Kun operaatio täytyy lopettaa huonon sään takia, alus voi joko jäädä valmius tilaan öljykaivon päälle odottamaan parempaa säätä tai irrottautua kaivosta, mikäli alus on kaapeliletkuyhteydessä siihen. Sen jälkeen alus voi joko odotella kentällä tai lähteä pois alueelta.

Tämän kaltaiset tarkastus-, huolto- ja korjaustyöt voivat olla taloudellisesti kannattavia ja toteuttamiskelpoisia aina äärimmäisen syviin merenalaisiin tuotantolaitoksiin asti kunhan vain saatavilla on viimeisen teknologian mukaan varusteltuja offshore-aluksia, jotka on suunniteltu tekemään nimenomaan näitä operaatioita.



Kuva 18. Aluksen moonpool ja ROV-laite (Offshore.no, 2013)

4.4 Tuotannon alas ajaminen ja rakennelmien purku

Kun hiilivetyesiintymä ei tuota enää tai tuottaa niin heikosti, ettei tuotanto ole enää kannattavaa, tulee aika jolloin tuotanto ajetaan alas ja rakennelmat puretaan. Maailmalla on yli 7000 offshore-kenttää, joista monet ovat lähitulevaisuudessa saavuttamassa elinkaarensa pään, koska niiden tuotanto on laskemassa. Norjan mannerjalustalla suurin tarve hiilivetyesiintymien tukkimiselle on seuraavien 50 vuoden aikana, koska siellä poraustoiminta aloitettiin vasta 1970-luvun alussa. Myös useita tuhansia kilometrejä putkilinjoja joudutaan poistamaan, peittämään tai ojittamaan. Nämä aiheuttavat sekä suuria haasteita ympäristö- ja teknologianäkökulmasta että potentiaalisia työmahdollisuuksia teollisuus- ja talousnäkökulmasta katsottuna. (Birkeland 2011, 12.)

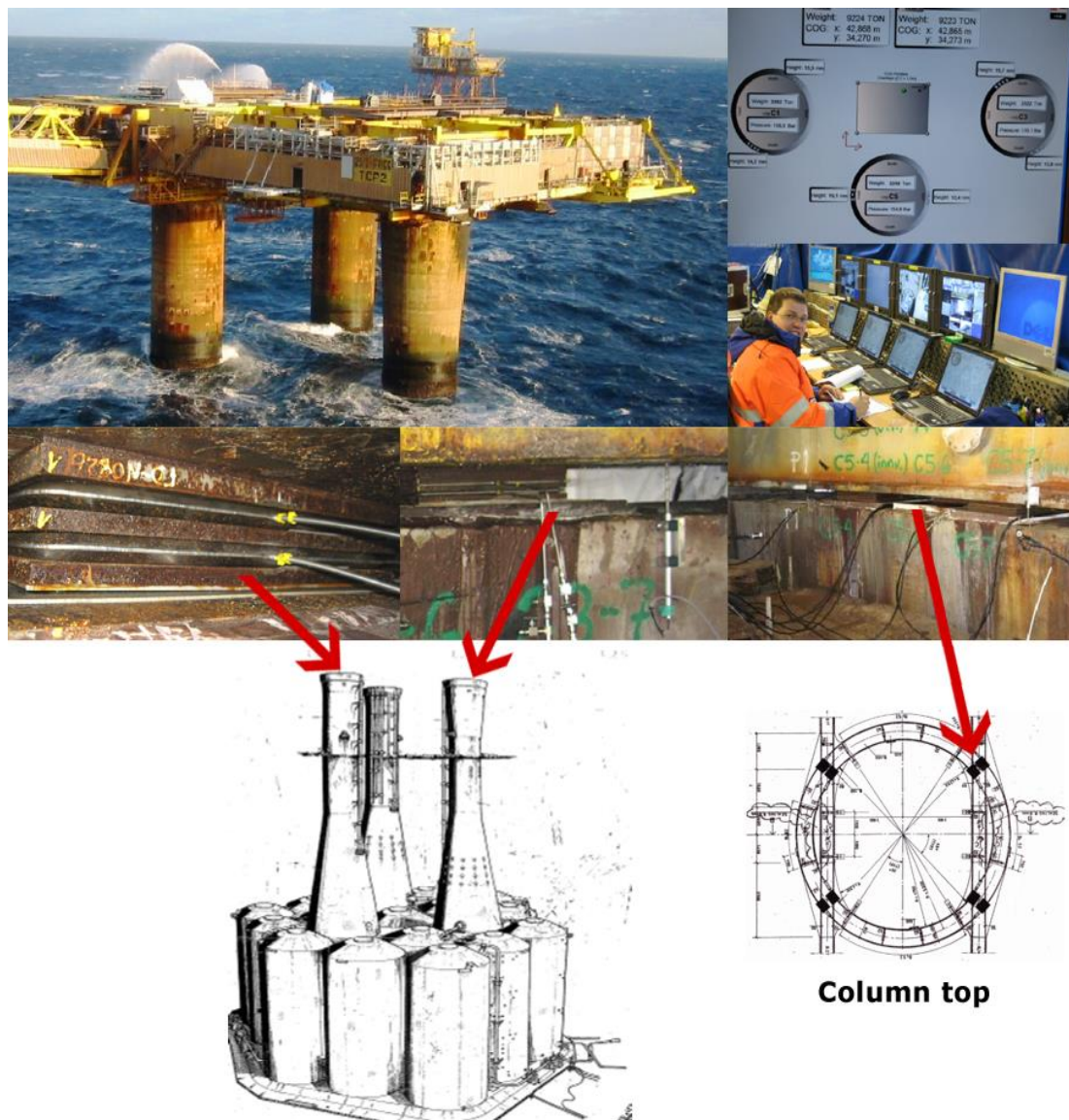
Euroopan vanhimmat porauslautat sijaitsevat Pohjanmerellä. Suunnilleen 470 rakennelmaa, 10 000 km putkilinjoja ja 15 maaterminaalia odottaa purkamista ja poistamista. Seuraavien 10–20 vuoden aikana arviolta 15–25 porausrakennelmaa tullaan poistamaan vuosittain pelkästään Euroopassa. Tämä tarkoittaa uudelleenkäytettäväksi tai hävitettäväksi 150 000–200 000 tn terästä vuodessa muun materiaalin lisäksi. (Lakhal 2009, 58.)

Tuotannon alas ajamisessa, rakennelmien purkamisessa ja siirtämisessä on useita toisiinsa liittyviä tekijöitä, jotka tulee ottaa huomioon suunniteltaessa ja kehiteltäessä toimintasuunnitelmaa kentän sulkemiselle. Tämän kaltaisissa operaatioissa kuten kaikissa muissakin operaatioissa merellä on pidettävä mielessä, että meri on meillä ainoastaan lainassa. Myös silloin, kun harjoitetaan öljyn- ja kaasunpوراusta, täytyy ottaa ympäristö ja muut merenkulkijat huomioon. Öljyn ja kaasun offshore-tuotannossa ollaan luonnollisesti tekemisissä vaarallisten olosuhteiden kanssa ja tämän seurauksena työskentely kentällä sisältää mahdollisia turvallisuusriskejä ihmiselle ja ympäristölle.

Esiintymän tukkimis-, jättämis- ja rakennelmien purkuoperaatiot suoritetaan alukselta käsin kun esiintymän elinikä on tullut loppuun. Tällaisten operaatioiden tarkoituksena on tukkia kaivo kunnolla, jotta hiilivedyt on eristetty merestä nyt ja tulevaisuudessa ja hävittää rakennelmat ympäristölakien mukaisesti. Operaatiossa poistetaan teräsputki, joka asennettiin porausvaiheessa. Kaivo suljetaan tarpeellisella määrällä sementtiä, niin että se on eristetty ympäristöstä. Teräsosat poistetaan osittain kaivosta tietylle tasolle merenpohjaan asti. Samalla poistetaan merenpohjassa olleet laitteet, jotka liittyivät esiintymän tuotantoon sen elinaikana. Tähän päivään mennessä useimmat purkuoperaatiot on suoritettu puoliuppoavilla nosturialuksilla (*heavy lift vessel*), jotka on suunniteltu nimenomaan raskaiden rakennelmien kuljettamiseen ja jotka kuljettavat rakennelmia palanen kerrallaan maihin. Tällaisessa toiminnassa käytetään myös nostureita, jotka on suunniteltu syvänmeren työskentelyyn. Uudet keksinnöt mahdollistavat kuitenkin koko porauslautan yläosan noston ja jopa koko rakennelman noston kerrallaan.

Tämän kaltaisessa operaatiossa on erityisen tärkeää tietää koko rakennelman paino ja painopiste ennen operaatiota. Rakennelman paino ja painopiste eivät ole enää samo-

ja, mitä ne olivat paikalleenasentamisvaiheessa vaan rakennelmaa on vuosien varrella varusteltu ja korjailtu, jolloin alkuperäiset insinöörien laskelmat eivät pidä enää paikkaansa. NykYTEknologialla reaaliaikaisen painon ja painopisteen määrittäminen on kuitenkin mahdollista asentamalla mitattavien rakennelmien alle ruostumattomasta teräksestä valmistettu etäluettava, vedellä täytettävä ja sensoreilla varustettu tunkki (Kuva 19). Tällaisella menetelmällä saadaan turvallisesti ja tarkasti tarvittava tieto siirrettävästä rakennelmasta. (IWS 2012.)



Kuva 19. IWS raskaiden rakennelmien painon määrittäminen (IWS)

4.4.1 Kansainvälisen merenkulkujärjestön (IMO) säännöt purkamisessa

Offshore-kentän käytöstä poistossa ja purkamisessa tärkeintä on etukäteissuunnittelu ja parhaiden menetelmien valinta. Koko prosessi, ensimmäisestä suunnitelmasta siihen kunnes rakennelmat hävitetään maissa, saattaa kestää useita vuosia.

IMO:n, kansainvälisen merenkulun turvallisuusasioita hallinnoivan järjestön, päätavoitteena on merenkulun turvallisuuden kehittäminen ja merien saastumisen ehkäiseminen. IMO ohjeistaa tekemään päätöksen offshore-rakennelman paikalleen jättämisestä tapauskohtaisesti kyseisen valtion, jossa rakennelma sijaitsee, lainsäädännön mukaisesti. Päätöstä tehdessä tulee ottaa huomioon

- vaikutukset turvalliseen navigointiin,
- paikalleen jätettävän materiaalin muuntuminen ja mahdollinen liikkuminen sekä niiden vaikutukset meriympäristölle,
- kustannukset, tekninen toteutettavuus ja turvallisuusriskit henkilöille, jotka työskentelevät kyseisessä operaatiossa
- uudelleenkäyttömahdollisuuden selvittäminen tai muu aiheellinen syy jättää rakennelma paikoilleen merelle. (IMO A.672(16).)

Seuraavat IMO:n standardit tulee ottaa huomioon rakennelman poistopäätöstä tehdessä:

- Kaikki rakennelmat, jotka sijaitsevat alle 100 metrin syvyydessä vedessä sekä painavat ilman kansirakenteita ilmassa alle 4000 tn, täytyy poistaa kokonaan.
- Kaikki rakennelmat, jotka asennetaan 1. tammikuuta 1998 jälkeen, täytyy suunnitella siten, että ne on mahdollista poistaa kokonaan.
- Rakennelmien poisto täytyy suorittaa aiheuttamatta merkittävää haittaa toisille merenkulkijoille ja meriympäristölle. (IMO A.672(16).)

Valtio, jonka alueella rakennelma sijaitsee, voi kuitenkin päättää, että rakennelma jätetään kokonaan tai osittain paikoilleen jos sille on uusiokäyttöä, poisto-operaatio

on teknisesti liian vaikea toteuttaa, äärettömän kallis tai se aiheuttaa suuren turvallisuusriskin operoivalle henkilöstölle. Paikalleen jätettävää rakennelmaa tulee seurata säännöllisesti ja varmistaa, että sääntöjä ja standardeja noudatetaan edelleen. Kuitenkin rakennelmat, jotka eivät ole enää siinä käytössä, johon ne alun perin suunniteltiin ja jotka sijaitsevat kansainväliseen merenkulkuun käytettävien salmien läheisyydessä, saaristoväylillä, syväväylillä, reittijakojärjestelmissä tai niiden läheisyydessä täytyy poistaa kokonaan. (IMO A.672(16).)

4.4.2 OSPAR-yleissopimus

Kansainvälisen lainsäädännön lisäksi on olemassa alueellisia sopimuksia, jotka määräävät rakennelmien poistamisesta mereltä. Koillis-Atlantin merellisen ympäristön suojelusta tehty yleissopimus (OSPAR-yleissopimus) kattaa alueen, joka ulottuu Grönlannin itärannikolta Euroopan länsirannikolle ja Gibraltarille. Se on samankaltainen kuin Itämeren koskeva HELCOM-sopimus. OSPAR määrää seuraavasti:

- Kaikkien rakennelmien merenpinnan yläpuolinen osa tulee siirtää kokonaan maihin.
- Rakennelmat, jotka lasketaan pieniksi, ts. painavat alle 10 000 tn, täytyy poistaa kokonaisuudessaan.
- Suurien, yli 10 000 tn painavien, rakennelmien poistaminen voi olla teknisesti liian vaikeaa toteuttaa, jolloin päätös poistamisesta on tapauskohtainen.
- Rakennelmiin, jotka kuljetetaan maihin hävitettäväksi, kokonaisina tai osiksi purettuina, täytyy soveltaa materiaalista riippuen sopivaa uudelleenkäyttö- tai kierrätyskeinoa. Jos kumpikaan näistä ei ole mahdollinen, materiaalit tulee hävittää lain määräämällä tavalla. (Holmager 2010, 97.)

Isommille rakennelmille, ts. teräs- ja sementtirakennelmille, jotka painavat yli 10 000 tn, sovelletaan seuraavia vaihtoehtoja:

- Poistetaan kokonaisuudessaan.

- Poistetaan osittain niin, että jätetään 55 metriä turvallista vettä rakennelman yläpuolelle.
- Jätetään paikalleen (voidaan soveltaa ainoastaan vedenalaisiin sementtirakennelmiin).
- Hävitetään syvempään mereen kuin mitä alkuperäinen sijainti on ollut (voidaan soveltaa ainoastaan vedenalaisiin sementtirakennelmiin). (Holmager 2010, 98.)

Tutkittaessa rakennelmien purkamisen vaikutuksia ympäristöön, kun ne tuodaan maihin, on otettava huomioon mm.

- energian määrä, joka käytetään rakennelman kuljettamiseen,
- ympäristöpäästöt, jotka aiheutuvat koko purkamisprosessin aikana,
- jätteet, jotka aiheutuvat koko purkamisprosessin aikana,
- ympäristövaikutukset muille merenkulkijoille ja paikallisille asukkaille maissa,
- ympäristövaikutukset kasvi- ja eläinlajistolle meressä. (Holmager 2010, 98.)

5 YHTEENVETO

Maapallolla kulutetaan tänä päivänä noin 90 miljoonaa barrelia öljyä päivässä. Maailmanlaajuisen kulutuksen ennustetaan kasvavan ainakin vuoteen 2030 asti. Jotta nämä ahneet kulutustarpeet ja vaatimukset fossiilisista polttoaineista pystytään täyttämään, täytyy öljy-yhtiöiden jatkuvasti etsiä uusia esiintymiä ja keksiä uusia innovaatioita jo löydettyjen esiintymien parempaan hyödyntämiseen. Koska maapallon pinta-alasta noin 70 % on merta, sijaitsee esiintymistäkin suuri osa merialueilla.

Operointi offshore-kentillä sen elinkaaren eri vaiheiden aikana on haastavaa sekä sääolosuhteiden että erikoisoperaatioiden vuoksi. Jokaisessa vaiheessa vaaditaan erikoisosaamista kaikilta operaatioon osallistuvilta henkilöiltä. Kaikissa erilaisissa operaatioissa käytetään myös erityyppisiä aluksia.

Uudet innovaatiot offshore-sektorilla liittyvät pitkälti haastavien syvänmeren kenttien parempaan hyödynnettävyyteen ja suurien kenttien rakentamiseen. Tämän päivän suuntaus tuntuukin olevan vedenalaisten kenttien rakentaminen niin, ettei kentällä tarvita lainkaan kiinteitä tuotantolaittoja. Kentillä olevien vedenalaisten tuotantolaitosten päivittäinen operointikin voidaan suorittaa maista käsin, kauko-ohjatusti. Vedenalaisilta kentiltä rakennetaan myös putkistot suoraan jalostamoille maihin, jolloin kentällä, meren pinnan päällä, ei nähdä kuin huolto- ja korjausaluksia tarvittaessa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli oman ammattitaidon kehittäminen ja tarkoituksena oli tehdä opas, jota voisi käyttää johdantona offshore-alalle tähtääville merenkulkijoille. Omat tavoitteeni täyttyivät hyvin ja mielenkiinto alaa kohtaan kasvoi entisestään. Jo etukäteen oli arvattavissa, että työ toisi esille asioita, joita voisi tarkastella syvemmin esimerkiksi uusien opinnäytetöiden merkeissä. Jokaisesta elinkaaren vaiheesta voisi työstää oman tutkielman ja näin saataisiin syvällisempää tietoa ja kattavampaa lähdeaineistoa tästä erikoisalasta kiinnostuneille merenkulkijoille.

LÄHTEET

Birkeland, F. 2011. Final Field Permanent Plug and Abandonment – Methodology Development, Time and Cost Estimation and Risk Evaluation – Master's Thesis. University of Stavanger.

BP Statistical Review of World Energy, June 2013. Viitattu 4.9.2013.
http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf

DeepOcean, luento 15.10.2012

Dulger, M. 2012. Deep Water Well Intervention and Fluid Selection – Master's Thesis. University of Stavanger.

Haavik, S. 2012. Petro – Maritime Business and Markets, luentomateriaali.

Hansen, J. Ø. & Rasen, B. 2012. Facts 2012: The Norwegian Petroleum Sector. Norwegian Ministry of Petroleum and Energy & Norwegian Petroleum Directorate. 07 Gruppen AS, Norway.

Helms, L. 2008. Horizontal Drilling, DMR Newsletter, Vol. 35 No. 1.

Holmager, M. 2010. OffshoreBook – An introduction to the offshore industry. Offshore Center Danmark, Denmark.

IMO Resolution A.672(16). 1989. Guidelines and standards for the removal of offshore installations and structures on the continental shelf and in the exclusive economic zone.

IndexMundi 2013. World Crude Oil Production by Year. Viitattu 8.3.2013.
<http://www.indexmundi.com/energy.aspx?product=oil&graph=production>.

IWS, luento 29.10.2012

Klemola, K. 2012. Maakaasu. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Lakhal, S. 2009. Exploration & Production – volume 7 issue 1. Touch Briefings.

Lampinen, J. 2012. Maapallon energiavarannot. Porin kaupungin ympäristövirasto.

Petroleum Communication Foundation 2000. Canada's Oil Sands and Heavy Oil.

Pääkkönen, T. 2006. Technip Offshore Finland. Ammattilaisen Väylä Itämerellä, 5-7.

Solar Navigator 2013. Oil Rigs and Platforms. Viitattu 13.4.2013.
http://www.solarnavigator.net/oil_rigs.htm

Statoil. Undervannshistorien. Viitattu 2.4.2013.

<http://www.statoil.com/no/TechnologyInnovation/FieldDevelopment/AboutSubsea/SubseaPresentation/Pages/SubseaAnimation.aspx>

Tzimas, E., Georgakaki, A., Garcia Cortes, C., Peteves, S.D. 2005. Enhanced oil recovery using carbon dioxide in the European energy system. Report EUR 21895 EN.

Wells, J. 2007. Historic Oil and Gas Wells in an Adjacent to Grand Lake St. Marys. The Ohio Department of Natural Resources Division of Geological Survey. Viitattu 4.5.2013. <http://www.dnr.state.oh.us/Portals/10/grandlakestmarytn.pdf>

Zijderveld, G.H.T., Tiebout, J.J., Hendriks, S.M. & Poldevaart, L. 2012. Subsea Well Intervention Vessel and Systems. Offshore Technology Conference.

KUVAT

Cahill Group of Companies. Viitattu 20.4.2013.

<http://www.cahillindustrial.com/cahill-old-site/projects/hibernia-gravity-base-structure-%28gbs%29-mechanical-outfitting>

Claxton 2013. Drilling templates. Viitattu 21.9.2013.

<http://www.claxtonengineering.com/products-services/structures/drilling-templates/>

Devold, H. 2010. Oil and gas production handbook – An introduction to oil and gas production. ABB Oil and gas, Norway.

gCaptain 2013. <http://gcaptain.com/maersk-convincer-extended-offshore/>

Geomatic Solutions 2013. Seismic surveys. Viitattu 20.3.2013.

<http://geomaticsolutions.com/seismic-surveys/>

Geologian tutkimuskeskus. Öljy, kaasu ja kivihiili. Viitattu 11.9.2013.

http://www.gtk.fi/_system/print.html?from=/geologia/luonnonvarat/oljy/index.html

IWS A/S. IWS weighing system. Viitattu 2.4.2013.

<http://www.iws.no/references.html>

Match INDUSTRY 2013. Technip Offshore Finland Oy. Viitattu 12.9.2013.

<http://www.matchindustry.fi/technip-offshore-finland-oy>

Offshore.no 2013. Viitattu 14.5.2013. <http://www.offshore.no/>

Pacific Drilling 2011. Pacific Santa Ana. Viitattu 17.4.2013.

<http://www.pacificdrilling.com/Operations/Pacific-Santa-Ana/default.aspx>

Rigzone 2013. What is EOR and how does it work? Viitattu 4.9.2013.

http://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=313&c_id=4

Shell. Ormen Lange – tall og fakta. Viitattu 13.4.2013. <http://www.shell.no/products-services/ep/ormenlange/no/facts.html>